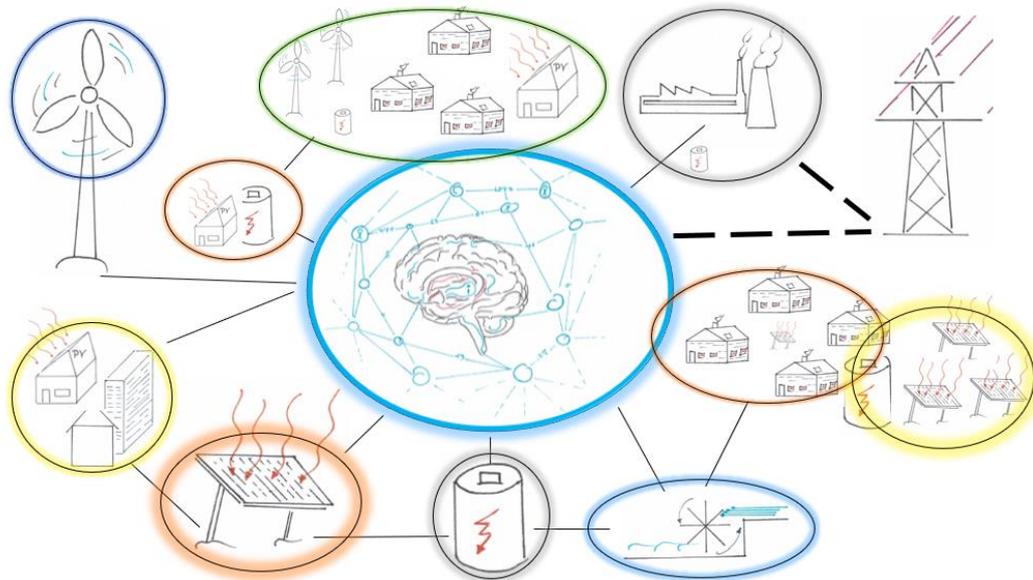


Energiemanagement

Ausrichtung auf Microgrids mit Blockchain-Steuerung



Akronym:	E-Manage Micro-Chain
Themenfeld:	Recherche und Analyse zu Kombinations- und Einsatzmöglichkeiten von Microgrids mit Blockchain-Steuerung
Autor:	Tobias Berg Dallingerstraße 39 90459 Nürnberg Tel.: 0157 / 51084621 E-Mail: bergto64696@th-nuernberg.de Matrikelnummer: 2807071
Hochschule:	Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm
Studiengang:	Maschinenbau Vertiefungsrichtung Energietechnik
Prüfer und Betreuer:	Prof. Dr.-Ing. Matthias Popp
Zweitleser:	Patrick Dirr Markus Kuczmann
Abgabe:	Nürnberg, den 28. Juni 2018
Unterschrift:	

Abstract

Diese Projektarbeit beschäftigt sich mit einer zukunftsorientierten Anwendung im Bereich Energiemanagement. Hauptausrichtung ist der Aufbau von Microgrids (Mikro-Strom-Netzen) mit Blockchain-Steuerung, welche vom Stromnetz abkoppelbar sind und autark betrieben werden können.

Hierzu wird zuerst der allgemeine Stand der Technik zu Microgrids vorgestellt. Grundlegende Fragestellungen zum Speicher- und Netzbedarf, der Netzanbindung und zur Dimensionierung eines Microgrid werden bearbeitet, um Kriterien für Einsatzgebiete festzulegen. Im Anschluss wird die auf Datenbanken basierende IT-Technologie Blockchain vorgestellt und ihre Relevanz für die Energiebranche erörtert.

Hauptziel der Projektarbeit ist es, den technischen Stand beider Technologien darzulegen und dem Betrachter das Potenzial einer Symbiose beider Technologien für die Energiebranche aufzuzeigen. Abschließend wird eine Kombination beider Technologien an bisherigen Pilotprojekten gegeben.

Schlagwörter: Energiemanagement, Microgrid, Autarkie, Blockchain, Smart Contract, P2P

Inhaltsverzeichnis

Abstract	II
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VI
1 Projektgruppe „Energietechnik“	1
1.1 Rahmenbedingungen der Projektarbeit	1
1.2 Motivation der Projektarbeit	1
1.3 Forschungs- und Projektfragen	3
2 Microgrid	4
2.1 Definition und Funktion	5
2.2 Stand der Technik an Pilotprojekt „IREN2“	6
2.3 Kriterien für die Installation eines Microgrid	8
2.3.1 Stromgestehung	8
2.3.1.1 Photovoltaik	9
2.3.1.2 Windenergie	9
2.3.1.3 Biomasse	10
2.3.1.4 Wasserkraft	10
2.3.1.5 Regenerativ betriebene Generatoren	10
2.3.2 Speicher	11
2.3.3 Voraussetzungen an das Netz	13
2.3.4 Regelungstechnische Voraussetzung und Smart Meter	15
2.4 Dimensionierung und Installation	16
3 Blockchain	18
3.1 Entstehung	18
3.2 Aufbau und Funktionsweise	20
3.2.1 Öffentliche oder Private Blockchain	21

3.2.2 Aufbau eines Blocks	23
3.2.3 Entstehung einer Block-Kette durch Validierung.....	25
3.2.4 Peer to Peer.....	27
3.2.5 Nutzerkonto und Transaktionsprozesse	28
3.2.6 Smart Contract	30
3.2.7 Kontinuierlicher Doppelauktions – Mechanismus.....	31
3.2.8 Preisstrategie eines aggressiven Marktmodells.....	34
3.3 Blockchain in der Energiebranche	36
3.4 Pilotprojekt - Handelsplattform „Tal.Markt“ Wuppertal	38
4 Microgrid mit Blockchain-Steuerung.....	40
4.1 Möglichkeiten in der Energiebranche.....	41
4.2 Pilotprojekte	43
4.2.1 „Brooklyn Microgrid“ Projekt in New York	43
4.2.2 „LAMP“ Landau Microgrid Project	44
5 Fazit und Ausblick	45
5.1 Zusammenfassung und Fazit	45
5.2 Offene Fragen	46
Literaturverzeichnis.....	47

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Stark vereinfachter Aufbau eines Microgrid	4
Abbildung 2 - Bruttostromerzeugung 2016	8
Abbildung 3 - Deutsches Stromnetz	13
Abbildung 4 - Entstehung der IT-Technologie Blockchain	18
Abbildung 5 - Block #521629 der Blockchain Bitcoin	19
Abbildung 6 - Schematischer Aufbau einer Blockchain	20
Abbildung 7 - Ablauf einer Bitcoin-Transaktion innerhalb einer Blockchain	29
Abbildung 8 - Verifizieren und Signieren einer Transaktion	29
Abbildung 9 - Transaktionsverlauf Verkäufer	33
Abbildung 10 - Transaktionsverlauf Käufer	33
Abbildung 11- Adaptivaggressives Marktmodel	35
Abbildung 12 - Blockchain Radar	37
Abbildung 18 - Vorteile der Handelsplattform Tal.Markt	38
Abbildung 19 - Vorteile der Produzenten	39
Abbildung 20 - Profite für die Region Wuppertal	39
Abbildung 21 - Symbioseschema E-Manage Micro-Chain	45

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Unterschiede der Aufbauformen einer Blockchain	22
Tabelle 2 - Angebote und Nachfragen der Teilnehmer	32
Tabelle 3 - Transaktionsverlauf	32

Abkürzungsverzeichnis

Allgemein

Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm	THN
Europäische Metropolregion Nürnberg	EMN
Wuppertaler Stadtwerke	WSW
Mittelspannungsnetz	MS
Niederspannungsnetz	NS
Blockheizkraftwerk	BHKW
Kraft-Wärme-Kopplung	KWK

Physikalisch

Gigawatt	GW
Megawatt	MW
Megawattstunde	MWh
Kilowatt	kW
Kilowattstunde	kWh

Juristisch

Zuteilungsgesetz	ZuG
Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz	TEHG
Erneuerbare-Energie-Gesetz	EEG
Erneuerbare-Energie-Wärmegesetz	EEWärmeG
Energieeinsparverordnung	EnEV
Messstellenbetriebsgesetz	MsbG

Blockchain

Number used only once	Nonce
Proof-of-Work	PoW
Proof-of-Stake	PoS
Proof-of-Authority	PoA
Peer to Peer	P2P
Internet der Dinge	IoT

1 Projektgruppe „Energietechnik“

Zu Beginn der Projektarbeit wird die Projektgruppe vorgestellt und die Anforderungen an die Arbeit dargelegt. Folgend wird die Motivation zur Erstellung der Projektarbeit sowohl unter politischen, als auch gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Aspekten erörtert. Die wesentlichen Projektfragen werden abschließend aufgestellt.

1.1 Rahmenbedingungen der Projektarbeit

Die Grundlage der Studienarbeit ist das seminaristische Praktikum „Projekt Energietechnik“ der *Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm* (THN), welches im sechsten Semester Maschinenbau mit der Vertiefungsrichtung Energietechnik stattfindet. Die Projektgruppe setzt sich aus 12 Studierenden und ihrem betreuenden Dozenten Prof. Dr.-Ing. Matthias Popp zusammen.

Innerhalb der Projektgruppe beschäftigt sich jeder Student mit einer individuellen Fragestellung, ob und wie die europäische Metropolregion Nürnberg (EMN) ihren Energieverbrauch vollständig auf eine Versorgung aus regenerativen Quellen umstellen kann. Ziel ist es, auf konventionelle Energiegewinnung zu verzichten und die europäischen Vorgaben einer CO₂ – Reduzierung umzusetzen.

1.2 Motivation der Projektarbeit

Die Motivation der Projektarbeit ist es, Möglichkeiten eines effizienteren Energiemanagements aufzuzeigen. Da Deutschland und seine europäischen Partner im Oktober 2014 die unten folgenden Punkte, im Rahmen der „Klima- und Energiepolitik 2030“ im Europäischen Rat beschlossen haben, ist ein progressives Energiemanagement Teil der Energiepolitik der Bundesrepublik Deutschland (Umwelt Bundesamt, 2018).

- Die EU-internen Treibhausgas-Emissionen bis 2030 im Vergleich zum Jahr 1990 um mindestens 40 % zu reduzieren.
- Das langfristige Ziel einer Senkung der Treibhausgas-Emissionen um 80 % - 95 % bis zum Jahr 2050.
- Die Nutzung erneuerbarer Energie auf 27 % des Gesamtenergieverbrauchs bis 2030 auszubauen.
- Die Steigerung der Energieeffizienz um 27 % bis 2030 mit der Möglichkeit einer Anhebung auf 30 %.

Auf diese Ziele abgestimmt, reglementiert die BRD die Erzeugung und den Energieverbrauch, sowie den Ausstoß von Treibhausgasen durch Gesetze und bindende Richtlinien. Hierdurch wachsen nicht nur die Anforderungen für Unternehmen, sondern auch im privaten Sektor.

Ein wesentliches Element im deutschen Recht ist die Energieeffizienz-Richtlinie (Richtlinie 2012/27/EU). Sie legt unter anderem Energieeffizienzziele für das Jahr 2020 fest, verpflichtet die Mitgliedstaaten zu einer jährlichen Energieeinsparung von 1,5 % in der Periode 2014 bis 2020 sowie zur Durchführung regelmäßiger Energieaudits in großen Unternehmen und zur Erstellung von Kosten-Nutzen-Analysen bei Neubauten und Modernisierungen von Kraftwerken und Industrieanlagen (Ellermann, 2016). Das Zuteilungsgesetz (ZuG) als auch das übergeordnete Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz (TEHG) sind nur weitere Beispiele von Bundesgesetzen, welche im Rahmen der Europäischen Union die Klimapolitik vorantreiben.

Da auf den privaten Sektor ca. 40 % des Endenergieverbrauches und ca. ein Drittel der CO₂ Emission entfällt (BMW, 2017), sind für diesen Bereich ebenfalls Verordnungen erlassen worden. Beispielhaft hierfür sind das Erneuerbarer-Energien-Gesetz (EEG) und das Erneuerbare-Energie-Wärmegesetz (EEWärmeG). Diese wurden am 1. Mai 2014 durch die Energieeinsparverordnung (EnEV) erweitert, welche im Jahr 2016 durch erhöhte Neubauanforderungen ergänzt wurde.

Durch diese Anforderungen steigt die Nachfrage an Energiemanagementdienstleistungen und -systemen sowohl in industriellen, als auch privaten Bereichen. Dies sorgt für einen Anstieg des Marktpotenzials. Da dieser Markt zunehmend durch die Digitalisierung geprägt ist, drängen IT- und Softwareunternehmen in die Branche und erweitern das Angebot durch innovative Herangehensweisen. Das stetige Wachstum innerhalb der Branche schafft einen Bedarf an gut ausgebildeten und spezialisierten Fachkräften und generiert neue Arbeitsplätze. (BAFA, 2017)

Beispielhaft ergaben sich alleine im Jahr 2016 insgesamt etwa 1.800 Erstzertifizierungen von Energiemanagementsystemen nach ISO 50001, ungefähr 2.400 Re-Zertifizierungen und 3.000 Beratungen zur Einführung eines Energiemanagementsystems sowie über 2.000 vertriebene Softwarelizenzen. Hinzu kommt die Inanspruchnahme von ca. 2.700 Dienstleistungen zum Energiemonitoring und ca. 2.600 zum Energiecontrolling. Dies ergibt alleine für das Jahr 2016 ein Marktvolumen von ca. 435 Mio. Euro. (BAFA, 2017)

1.3 Forschungs- und Projektfragen

Die Fragestellungen, welche die Projektarbeit bearbeitet, lauten:

1. Voraussetzungen für den Aufbau und die Dimensionierung eines Microgrids
2. Bedeutung der IT-Technologie Blockchain für die Energiebranche
3. Bedeutung der Kombination von Microgrids mit Blockchain-Steuerung

2 Microgrid

Einleitend erklärt eine Definition die allgemeinen Funktionen von Microgrids und hebt wesentliche Aspekte hervor. Folgend zeigt das deutsche Pilotprojekt „IREN2“ den Stand der Technik und Forschung auf. Anschließend werden einzelne Kriterien für die Installation und Dimensionierung eines Microgrid erarbeitet um hierdurch potenzielle Einsatzgebiete analysieren zu können.

Abbildung 1 zeigt einen stark vereinfachten Aufbau eines Microgrid.

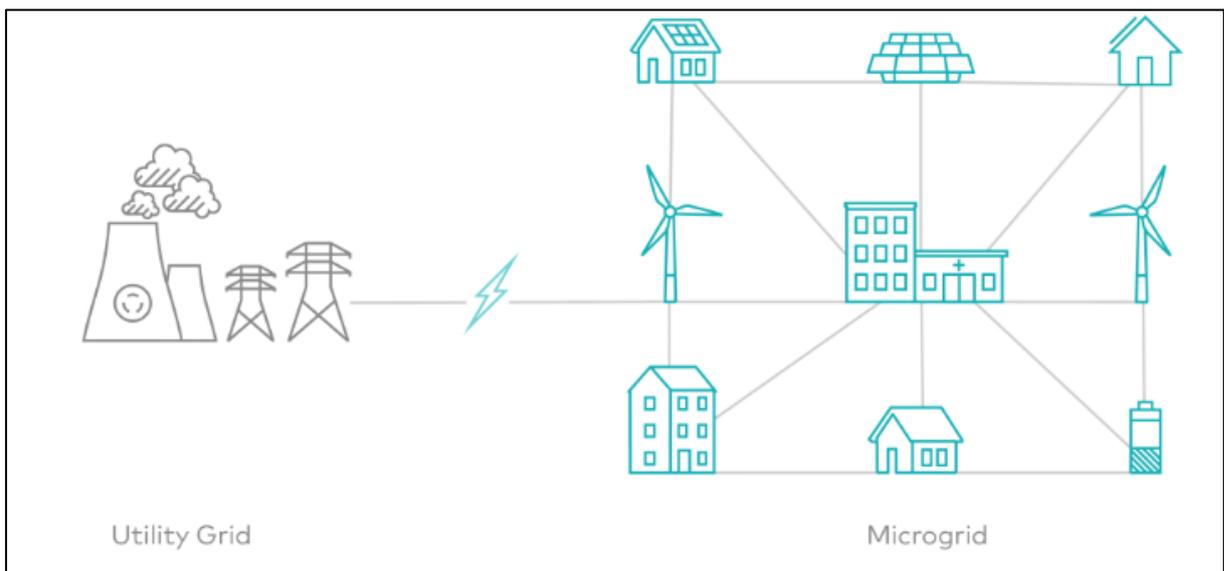


Abbildung 1 - Stark vereinfachter Aufbau eines Microgrid (Florian, 2018)

Im linken Bildteil befindet sich das Versorgungsnetz mit seinen zentralen Stromgestehungsanlagen. Das blau hervorgehobene im rechten Bildteil, zeigt den wesentlichen Aufbau eines Microgrid mit allen wichtigen Bestandteilen. Hier sind vor allem regenerative Energiegewinnungsanlagen im privaten, als auch gewerblichen Einsatz sowie Speicheroptionen erkennbar.

2.1 Definition und Funktion

Im Allgemeinen gibt es zwei wesentliche Aufbauarten für ein Microgrid:

- **Off-Grid:** Dieser Aufbau hat keinen Zugang zum allgemeinen, flächendeckenden Stromnetz, sondern arbeitet völlig autark und unabhängig (Iten, 2016). Die Hauptanwendung ist in entlegenen oder schwer zugänglichen Gebieten ohne leistungsfähiges Übertragungsnetz. Beispielhaft hierfür sind Einsatzgebiete in Afrika zur Entwicklungshilfe oder isolierte Inseln bzw. Regionen mit begrenzter Größe und Einwohnerzahl.
- **Grid-Connected:** Dieser Aufbau hat Zugang zum Hauptelektrizitätsnetz und kann je nach Bedarf an- bzw. abgekoppelt werden (Iten, 2016).

Da Deutschland über ein flächendeckendes Stromnetz verfügt, wird in dieser Projektarbeit nur der Aufbau „Grid-Connected“ betrachtet.

Ein Microgrid ist ein eigenständiger, räumlich begrenzter Stromnetzbereich mit internen Stromgestehungsquellen und Lastgruppen. In der Regel arbeiten diese auf der unteren Netzversorgungsebenen im Niederspannungsbereich. Über Verbindungsstellen ist der Netzbereich an das allgemeine Übertragungsnetz angebunden und arbeitet synchron zu diesem. Jedoch ermöglicht der Aufbau eine Abkopplung für einen autarken Betriebsmodus, den sogenannten „Inselmodus“, neben dem allgemeinen Stromnetz. Als Kopplungspunkte können Transformatorstationen zwischen den Netzebenen oder einfache Übergänge auf gleicher Netzebene dienen. Die Abkopplung kann aus physikalischer Notwendigkeit erfolgen oder an wirtschaftliche Bedingungen geknüpft sein.

Bei auftretenden Störungen, wie Naturkatastrophen oder Versorgungsnetz-zusammenbrüchen, kann durch eine Abkopplung die Stabilität und Versorgungssicherheit im Verteilnetz des Microgrid aufrechterhalten werden.

Deckt die Energiegewinnung durch regenerative Quellen den Verbrauch innerhalb des Netzbereiches ab, kann eine Abkopplung und Energieverteilung innerhalb des Netzbereiches den Eigenverbrauch maximieren und eine Unabhängigkeit gegenüber konventioneller Stromgewinnung ermöglichen. Speichermöglichkeiten sind hierbei optional.

2.2 Stand der Technik an Pilotprojekt „IREN2“

Das erste in Deutschland erfolgreich vom Stromnetz abgekoppelte und stabil betriebene Microgrid befindet sich in Wildpoldsried im Oberallgäu. Hier startete 2014 (Reischböck, 2016) das Pilotprojekt „Zukunftsfähige Netze für die Integration Regenerativer Energiesysteme“ (IREN2) als Folgeprojekt von „Irene“ (Integration Erneuerbarer Energien und Elektromobilität) zur Erprobung zweier Konzepte zur Integration von erneuerbarer Energie in einem unabhängigen Niederspannungsnetzbereich (Prof. Dr. Strüker, Albrecht, Reichert & Schmid, 2017).

Da Wildpoldsried durch regenerative Erzeugungsanlagen ein mehrfaches des eigenen Energiebedarfs erzeugen kann, ist die Gemeinde ideal geeignet als Erprobungsgebiet. Für eine autarke Versorgung stehen der Gemeinde mehrere Photovoltaikanlagen und Windkraftanlagen sowie eine Biogasanlage und Kleinwasserkraftanlagen zu Verfügung. Des Weiteren sind zwei Dieselgeneratoren als Backup auf Basis von Pflanzenöl oder Biodiesel installiert. Als Ergänzung der energetischen Infrastruktur ist ein Lithium-Ionen-Batteriespeicher sowie entsprechende Mess- und Regelungstechnik zur Steuerung des Microgrid installiert. (Reischböck, 2016)

Hierdurch entsteht eine hybride Struktur, welche im Falle eines kraftwerksbedingten Stromausfalls (Schwarzfall) durch die schwarzstartfähigen Batteriespeichersysteme das Netz neu aufbauen und mit Hilfe der Backup-Generatoren stabil betreiben kann. Die verbauten Steuer- und Regelsysteme unterstützen die Synchronisation mit dem Versorgungsnetz bei An- bzw. Ankopplungsvorgängen über zwei Ortsnetztransformatoren. (Prof. Dr. Dr. Biechl, et al., 2013)

Ziel des Projekts ist es, das Microgrid nur durch regenerative Energiegewinnung, im Falle einer Abkopplung in den Inselmodus zu betreiben. Hierbei steht vor allem eine gesicherte Versorgung unter wirtschaftlichen Betriebsbedingungen im Fokus. Ein weiterer Aspekt ist die Schwarzstartfähigkeit zum Netzaufbau sowie ein Einsatz als topologisches Kraftwerk in übergeordneten Netzebenen. (Reischböck, 2016)

Ein topologisches Kraftwerk beschreibt einen Netzabschnitt, der wie ein konventionelles Kraftwerk zur Netzstabilisierung gesteuert werden kann (Prof. Dr. Dr. Biechl, et al., 2013).

Die erste erfolgreiche Abkopplung unter realen Bedingungen erfolgte im Herbst 2017 in vier Teilschritten (ohne Verfasser, 2017).

1. Abkoppeln und initiieren eines kontrollierten Stromausfalls mit anschließender Wiederherstellung der Stromversorgung. Hierbei wurde die Schwarzstartfähigkeit des Systems erprobt.
2. Unterbrechungsfreie Synchronisierung aus dem Inselmodus an das Versorgungsnetz zur Erprobung der Netztransformatoren und Sicherheitseinrichtungen.
3. Unterbrechungsfreie Abkopplung ohne Stromausfall in den Inselmodus.
4. Unterbrechungsfreie Ankopplung an das Versorgungsnetz.

Die Abkopplung und der Betrieb im Inselmodus funktionierten ohne wesentliche Einschränkungen und bestätigen die Möglichkeit einer netzunabhängigen, dezentral aufgebauten Energieversorgung. Eine weitere Erkenntnis ist, die Einsatzmöglichkeit von Microgrids als topologische Kraftwerke sowie eine Versorgungssicherheit unter wirtschaftlichen Aspekten im Inselmodus. Bei geeigneten Speicheroptionen und Systemtechnik ist eine Schwarzstartfähigkeit gegeben.

2.3 Kriterien für die Installation eines Microgrid

Zur Installation eines netzintegrierten Microgrids sind Grundvoraussetzungen zu erfüllen. Die hierfür wesentlichen energetischen und infrastrukturellen Aspekte werden in folgenden Unterkapiteln bearbeitet.

2.3.1 Stromgestehung

Hauptfaktor für die Installation eines Microgrids zur Steigerung der Autarkie sind ausreichend dezentrale Stromgestehungsoptionen. Hierbei spielen regenerative Anlagen eine wesentliche Rolle. So wurden im Jahr 2016 ca. 188 TWh durch regenerative Prozesse gewonnen. Dies entsprach 29 % der deutschen Bruttostromerzeugung (Dr. Rohring, 2017).

Abbildung 2 zeigt den Bruttostrommix für das Jahr 2016.

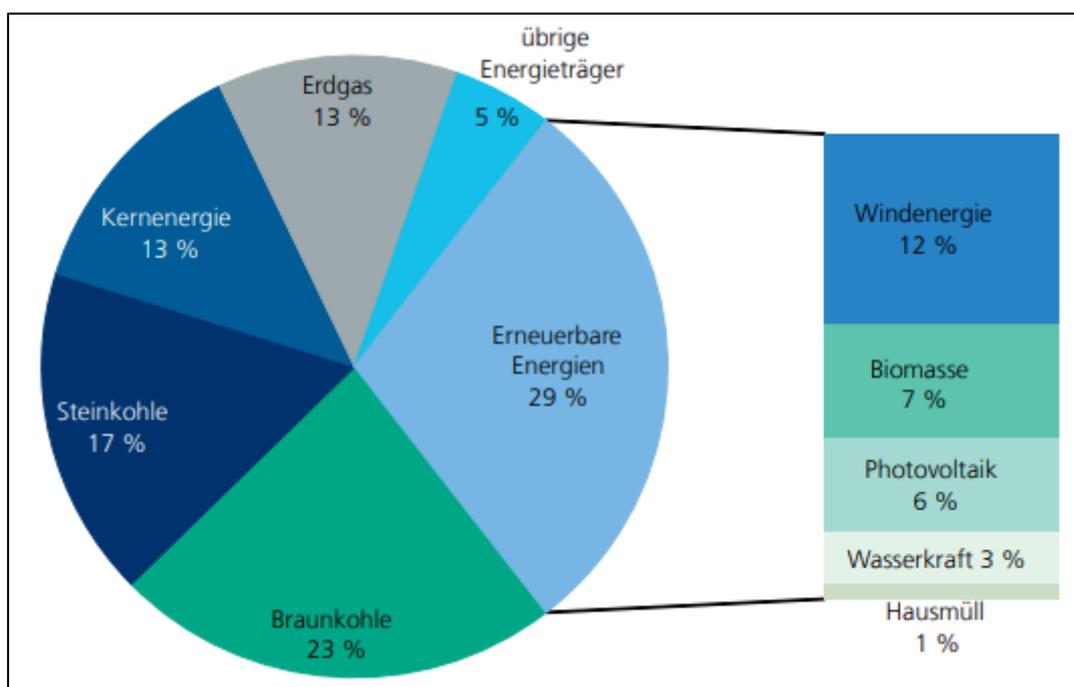


Abbildung 2 - Bruttostromerzeugung 2016 (Dr. Rohring, 2017)

Innerhalb eines Microgrids im Inselmodus steht die Stromerzeugung aus Braun- bzw. Steinkohle sowie Kernenergie nicht zur Verfügung. Auf Stromerzeugung durch Erdgas sollte ebenfalls aus regenerativer Sicht verzichtet werden. Diese Anteile müssen durch erneuerbare Optionen ersetzt werden.

In den folgenden Unterkapiteln werden die einzelnen Teilbereiche und weitere Stromgestehungsoptionen kurz angesprochen. Nicht gelistete Energiegewinnungskonzepte, wie Solarthermie oder Geothermie, sind für eine Steigerung der Autarkie und Ressourcenunabhängigkeit verwendbar.

2.3.1.1 Photovoltaik

Im privaten Sektor sind Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) Hauptbestandteil der dezentralen Stromerzeugung. Gründe für die Installation einer eigenen Anlage sind Eigennutzung des Stroms und ein Verzicht auf Netzbezug. Überschüsse können in das Netz abgegeben und über die Einspeisevergütung Einnahmen erwirtschaftet werden. Innerhalb des Microgrid würden die Überschüsse zuerst lokal verteilt oder gespeichert werden.

Ebenfalls gibt es die Möglichkeit von Photovoltaik-Freiflächenanlagen (Solar-Parks) zur Erzeugung von großen Mengen an Strom. Hierbei reichen die Möglichkeit von einer vollabdeckenden Anlage ohne landwirtschaftliche Zusatznutzung bis zu einer Kombination mit landwirtschaftlicher Sekundärnutzung. Beispielhaft hierfür sind Weidewirtschaft oder das Agrophotovoltaik-Konzept.

Das Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE) zeigt aktuelle Fakten zum Stand von Photovoltaik in Deutschland in ihrer Veröffentlichung vom 21. Februar 2018 auf (Dr. Wirth, 2018).

2.3.1.2 Windenergie

Die Erzeugung von Strom aus Windenergie trägt einen wesentlichen Teil zur Energiewende bei. So konnten beispielsweise im Jahr 2016 ca. 80,1 TWh, dies entspricht 12 % des deutschen Stromverbrauches, durch Windstrom gedeckt werden (Dr. Rohring, 2017).

Vorteile einer Windkraftanlage ist ein größerer Ertrag bei einem besseren Wirkungsgrad im Gegensatz zu PV-Anlagen. Nachteilig ist der starke Eingriff in die Landschaft und der hiermit verbundene, mögliche Widerstand in der Bevölkerung.

Eine Potenzialanalyse zur Erzeugung von Strom aus Windkraft in der EMN und der Einfluss verschiedener Bauformen sind Teil der Projektgruppe „Energietechnik“ und werden in separaten Projekten betrachtet.

Überdies veröffentlicht das Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) einen jährlichen Report zum Stand der Windenergie in Deutschland (Dr. Rohring, 2017).

2.3.1.3 Biomasse

Eine weitere Möglichkeit zur Stromgestehung ist die Erzeugung von Biogas aus Biomasse. Das Biogas kann entweder in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) direkt zur Stromgewinnung verbrannt oder nach einer Gasaufbereitung in das Erdgasnetz eingespeist werden. Aufgrund der Bereitschaft von energiehaltigen Abfallprodukten wie Gülle oder Erntereste und dem Anbau von Energiepflanzen wie Mais, sind Biogasanlagen größtenteils in ländlichen Regionen vertreten.

Vorteil einer Biogasanlage ist, bei einem kontinuierlichen Betrieb ein geregelter Ertrag zur Deckung des Energiebedarfs. Innerhalb eines Microgrid kann dieser für die Grundlastversorgung verwendet werden.

2.3.1.4 Wasserkraft

Da Deutschland über ein verzweigtes Fluss- und Gewässersystem verfügt, kann dies zur Stromgewinnung durch Laufwasserkraftanlagen genutzt werden. Hierbei weist Wasserkraft selbigen Vorteil einer fluktuationsunabhängigen Energiegewinnung wie Biomasse auf.

So konnte in Bayern im Jahr 2016 durch 4200 Anlagen ca. 12,1 Mrd. kWh zur Versorgung von 3,8 Mio. Haushalten gewonnen werden (StMWi, 2016). Dies deckt eine Bruttostromerzeugung von ca. 14,9 Prozent. Entsprechende Informationen zu Abflussmengen und Standorten veröffentlicht der *Gewässerkundliche Dienst Bayern* sowie der *Energieatlas Bayern*.

2.3.1.5 Regenerativ betriebene Generatoren

Alternativ kann ein BHKW zur Erzeugung von elektrischer Energie und Wärme eingesetzt werden. Diese können sowohl mit konventionellen Kraftstoffen wie Diesel, Öl oder Erdgas, als auch durch regenerative Energiequellen wie Biogas und Biodiesel oder Pflanzenöl zur Verbrennung betrieben werden. Hierbei ist zwischen Leistungsklassen von wenigen Kilowatt (kW) bis in den Megawattbereich (MW) zu unterscheiden. So eignen sich Mikro-KWK Anlagen (Kraft-Wärme-Kopplung) von unter 10 kW oder Mini-KWK Anlagen bis zu 50 kW für den Einsatz in Wohngebieten. (BHKW-Infothek, ohne Angabe)

Da die Energieerzeugung durch BHKW-Anlagen nicht fluktuationsabhängig ist, sondern nur abhängig vom Preis und Lieferbarkeit des Brennstoffes, eignet sich der Einsatz von regenerativ betriebenen BHKW-Anlagen in Microgrids. Hierdurch können die Grundlast und volatile Ertragsausfälle gedeckt werden. Ebenfalls stellen sie Backup-Leistung im Falle eines Schwarzfalls und die anschließende Versorgung bereit. (Reischböck, 2016)

2.3.2 Speicher

Zur Steigerung des Eigenverbrauches und der Autarkie ist der Einsatz von Speichermöglichkeiten zur Speicherung von Energieüberschüssen sinnvoll. Hierbei sind folgende technologische Energiespeicherformen möglich:

- mechanische Energiespeicher
- chemische Energiespeicher
- elektrochemische Energiespeicher
- elektrische Energiespeicher
- thermische Energiespeicher

Zu den mechanischen Speichern zählen Pumpspeicherkraftwerke, welche die potenzielle Energie des Wassers nutzen und sind die am häufigsten eingesetzte Technologie bei großtechnischen Speicheranlagen. Durch die geografischen Voraussetzungen und die hohen Installationskosten sowie die Dimensionierung bei wirtschaftlicher Betrachtung, eignen sich Pumpspeicher nur bedingt zum Einsatz innerhalb eines Microgrid. Aufgrund des Leistungsbereiches und der Flexibilität ist eine Verwendung im übergeordneten Netzbereich zur Bereitstellung von Regel- oder Spitzenleistung sinnvoller.

Das aktuell leistungsstärkste Pumpspeicherwerk entsteht in der Provinz Hebei in China mit einer Leistung von ca. 3,6 Gigawatt (GW) und wird voraussichtlich 2021 fertig gestellt. (Ingram, 2017)

Elektrochemische Speicher bzw. Batteriespeicher können sowohl im Privatgebrauch zur Kurzzeitspeicherung oder als großangelegter Verbund zur Netzstabilisierung und Spitzenlastdeckung dienen. Mit sinkenden Kosten für Speichersysteme und der Reduzierung der Einspeisevergütung für Solarstrom steigt die Rate an neu installierten PV-Anlagen im Verbund mit Batteriespeichern im häuslichen Anwendungsfeld. Der Zubau von Speichermöglichkeiten an bestehende Anlagen oder nur zur Speicherung ohne eigene Stromgestehung ist möglich. Batteriespeicher eignen sich optimal für einen Einsatz in Microgrids, wie das Pilotprojekt IREN2 aufzeigt.

Der größte Energiespeicher weltweit wurde 2017 im australischen Jamestown von dem amerikanischen Unternehmen Tesla Inc. mit einer Leistung von 100 MW und einer Kapazität von 129 MWh installiert. Es dient zur Sicherstellung der Versorgung im Hochsommer für bis zu 30.000 Haushalte. Die Ladung erfolgt über einen nahegelegenen Windpark. (Tesla, 2017)

Bei thermischen Speichern muss zwischen Großanlagen zur Langzeitspeicherung von Heißwasser oder industriellen Dampfspeichern, sogenannte Ruths-Speicher und privaten Anlagen, wie Latentwärmespeicher oder Warmwasserspeichern, unterschieden werden. Eine sektorenübergreifende Kopplung innerhalb eines Microgrid ist bisher nicht erforscht.

Zur elektrischen Speicherung von Strom können Kondensatoren oder supraleitende magnetische Energiespeicher verwendet werden. Hierbei durchfließt Gleichstrom eine Gleichrichterspule aus supraleitendem Material, wodurch ein Magnetfeld zur Energiespeicherung entsteht. Grundlage hierfür ist die Theorie, dass Strom in einem supraleitenden Stromkreis unendlich lange fließen kann, ohne dass von außen weitere Energie zugeführt werden muss (Rundel, et al., 2013). Aufgrund der hohen Kosten und der unausgereiften Technologie eignet sich diese Speicherform nicht.

Chemische Speicher arbeiten auf Basis einer sektorenübergreifenden Umwandlung von Strom zu Gas oder Flüssigkeit. Diese Umwandlungen werden üblich als „Power-to-X“ Prozesse bezeichnet. Die umgewandelten Energieträger können gespeichert oder anderen Sektoren zur Verfügung gestellt werden.

Eine Analyse der Möglichkeiten zur Verwendung von Batteriespeichern im Hinblick auf eine möglichst hohe dezentrale Versorgung in Wohngebäuden ist Bestandteil der Projektgruppe und wird in einer eigenständigen Arbeit betrachtet. Weitere Arbeiten behandeln den Einsatz von Power-to-Gas Anlagen, welche mit Energieüberschüssen zur Energiespeicherung betrieben werden. Das Potenzial geotechnischer Anlagen für eine Vollversorgung wird ebenfalls untersucht.

Im September 2013 veröffentlichte das Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheit- und Energietechnik UMSICHT eine Studie zu Speichertechnologien innerhalb der Energiewende (Rundel, et al., 2013).

2.3.3 Voraussetzungen an das Netz

In Deutschland erfolgt die Stromgewinnung größtenteils in zentral gelegenen Kraftwerken, daher wird für den Energietransport in Industriegebiete und ländliche Räume ein mehrstufiges Übertragungsnetz benötigt.

Der Energietransport von den Haupteinspeisungsquellen zu den Verbrauchsschwerpunkten und über längere Distanzen erfolgt über ein Höchstspannungsnetz auf einer Spannungsebene von 220 bis 380 kV. Über kurze Distanzen erfolgt die Versorgung für Ballungsgebiete und Großverbraucher über ein 110 kV Hochspannungsnetz. Für die lokale Verteilung und Anbindung von Großunternehmen steht das Mittelspannungsnetz (MS) mit einer 20 kV Ebene zur Verfügung. Die Feinverteilung für private Haushalte und kleinere Unternehmen sowie Handelsgeschäfte erfolgt über das Niederspannungsnetz (NS) mit 0,4 bis 0,23 kV. Für einen Übergang zwischen den Netzebenen werden Transformator-Stationen zum Herab- bzw. Heraufsetzen der Spannung vorgehalten.

Abbildung 3 veranschaulicht den Aufbau des deutschen Stromnetzes.

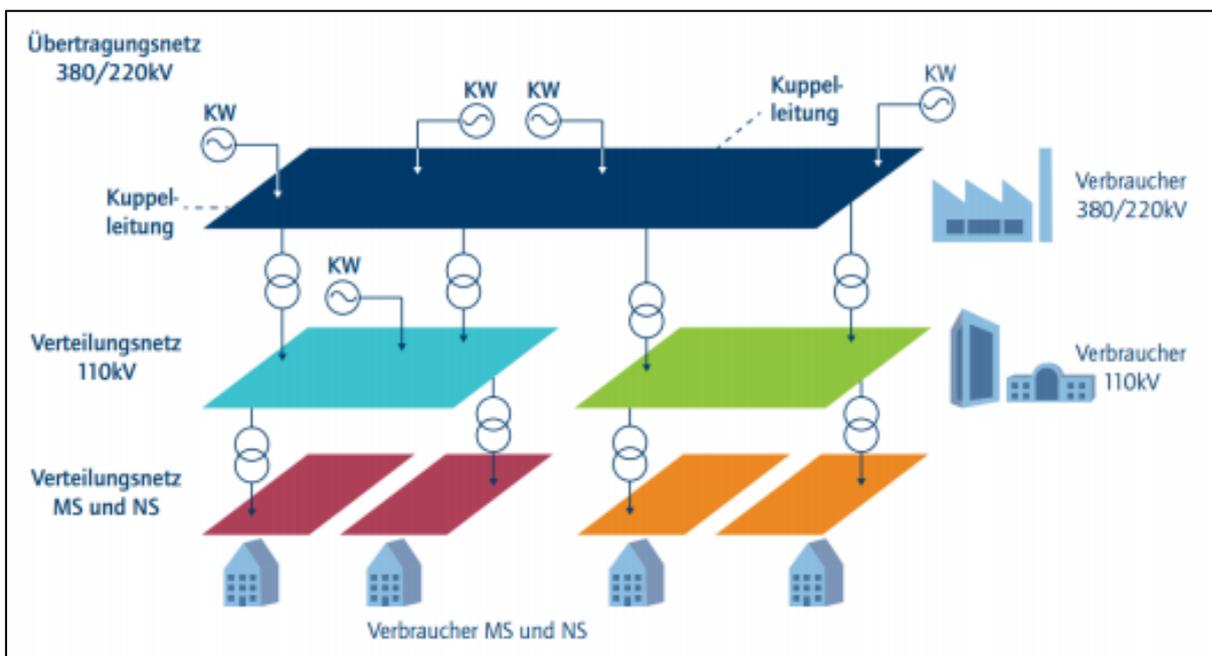


Abbildung 3 - Deutsches Stromnetz (Dr. Federau, 2016)

Für einen stabilen Netzbetrieb ist eine gleichmäßige Stromentnahme bzw. -einspeisung zur Vermeidung von Schwankungen der Netzfrequenz, erforderlich. Die Frequenz sollte durchgehend 50 Hz betragen, da das Netz nur Schwankungen bis 0,05 Hz auswirkungsfrei ausgleichen kann. Zur Stabilisierung der Netzfrequenz bei Schwankungen wird Regelenergie für einen Ausgleich verwendet. (Dr. Federau, 2016)

Selbige Bedingungen sind bei einem Inselbetrieb des Microgrid zu erfüllen, da überdimensionale Netzschwankungen zu Beschädigung aktiver Elektrogeräte führen und Fehlfunktionen auslösen können.

Als Knotenpunkt zwischen dem Microgrid und dem Übertragungsnetz eignen sich Transformator-Stationen zu einer höheren oder einfache Übergänge auf gleicher Netzebene. Hierbei ist auf ausreichende Schutz- und Regeleinrichtungen zur Vermeidung von Schäden zu achten. Ebenfalls müssen die Knotenpunkte bei An- und Abkopplungsvorgängen den separaten Netzbereich mit dem allgemeinen Netz synchronisieren, um eine Kompatibilität sicherzustellen. (Dr. Federau, 2016)

2.3.4 Regelungstechnische Voraussetzung und Smart Meter

Als regelungstechnische Voraussetzung für einen autarken Betrieb ist ein Mindestanteil an selbstgeführter Energiegewinnung von Nöten (Dr. Federau, 2016). Dies bedeutet, das netzdienliche Einspeisen ohne eine vorgegebene feste Spannung und Frequenz aus dem Übertragungsnetz. Die entsprechende Steuerung der Wechselrichter an den Einspeisestellen muss hierfür ausgelegt und programmiert sein.

Des Weiteren bedarf es für eine stabile Netzregelung ein Trägheitsmoment zur Reduzierung von Frequenzschwankungen. Hieran müssen die Regelungszyklen angepasst werden. Die großen Verteilnetzte arbeiten meist mit einem Regelungszyklus zwischen 1-3 Sekunden. Innerhalb eines Microgrids bedarf es wesentliche schnellerer Regelungszyklen im Millisekundenbereich. Hierdurch entstehen neue Anforderungen an Leistungs- und Frequenzregler sowie an die Kommunikationswege zwischen den einzelnen Erzeugern und Verbrauchern. (Apel, 2018)

Die Basis für einen intelligenten Messaufbau bilden digitale Stromzähler – die Smart Meter. Üblicherweise werden Smart Meter in Neubauten oder bei Inbetriebnahme Erneuerbarer-Energie-Anlagen verbaut, jedoch ist eine Nachrüstung in bestehende Einrichtungen möglich. Das im Jahr 2016 in kraftgetretene Gesetz über den Messstellenbetrieb und die Datenkommunikation in intelligenten Energienetzen (Messstellenbetriebsgesetz - MsbG) regelt hierbei die rechtlichen Rahmenbedingungen. (Bundesministerium der Justiz und Verbraucherschutz, 2016)

Smart Meter erfassen live den Verbrauch oder die Einspeisung eines Gebäudes bzw. einer Anlage und übermitteln die Daten direkt über ein Kommunikationsnetz an die Kontrolleinheit. Innerhalb des Kommunikationsnetzes können mehrere Smart Meter zur genauen Überwachung einzelner Teilgebiete verwendet werden. Hiermit ermöglichen sie zusammen mit einem automatisierten Last- und Ressourcenmanagement die Steuerung eines intelligenten Stromnetzes. (Bundesnetzagentur, 2018)

2.4 Dimensionierung und Installation

Eine der wichtigsten nicht-technischen Grundvoraussetzungen ist die Akzeptanz der betroffenen Bürger und ihre Bereitschaft zur Teilnahme. Wie das Pilotprojekt IREN2 zeigt, muss die Lokalpolitik hierfür ebenso mit einbezogen werden, als auch der zuständige Energieversorger und Unternehmen zur Bereitstellung von Know-how.

Da es bisher nur wenige abgeschlossene Pilotprojekte zur Installation und dem Einsatz von Microgrids als separate Netzbereiche in einem übergeordneten Netz gibt, ist es schwierig exakte Aussagen zur optimalen Dimensionierung zu geben. Wie das Pilotprojekt IREN2 und das vorherige Kapitel 2.3 außerdem zeigen, sind wesentliche Rahmenbedingung im energetischen und infrastrukturellen Bereich zu erfüllen.

Jedoch bereits existierende Inselnetze beweisen, dass eine Dimensionierung von wenigen Haushalten wie in Afrika bis zu einigen tausend Verbrauchern möglich ist. Beispielhaft für eines der größten betriebenen Inselnetze ist die Abkappung West-Berlins in den 50er Jahren (Dr. Paschotta, 2017).

Theoretisch sind alle Netzbereiche, welche die obigen Rahmenbedingung erfüllen, für eine Installation geeignet. Jedoch muss die Machbarkeit anhand der Kosten und Restriktionen aufgrund der Wirtschaftlichkeit ebenfalls beachtet werden. Hierzu ist eine Analyse jedes Elementes unter Berücksichtigung aller technischer, finanzieller und ökonomischer Aspekte von Nöten. Hierdurch rückt die Finanzierbarkeit in den Fokus.

Zur Finanzierbarkeit von Projekten mit Microgrid-Konzepten hat die Universität Lüneburg im September 2015 ein entsprechendes Arbeitspapier veröffentlicht.

Zusammengefasst müssen folgende Punkte erfüllt sein:

- Wille zur Autonomie
- Stabilität und Flexibilität im Microgrid
- Kompatibilität und Skalierbarkeit am Netz
- Effizienz zur Wirtschaftlichkeit

Sind die gelisteten Anforderungen erfüllt, läuft die Installation in vier wesentlichen Teilschritten ab (Dr. Federau, 2016).

Im ersten Schritt wird den Anwendern die Technik nähergebracht sowie die persönlichen Veränderungen für den Energieverbrauch angesprochen. Zur Steigerung der Effizienz und Verbesserung der Regelung werden technische Hilfsmittel und intelligente Systeme verbaut.

Der zweite Schritt beschreibt den Zusammenschluss aller Anlagen zu einem vernetzten Verbundsystem.

Innerhalb des dritten Schrittes werden die messtechnischen Kontrolleinrichtungen zur Transparenz und Überwachung aller Energieströme installiert. Hierdurch können in Echtzeit Daten für eine Systemlenkung zur vollständigen Bedarfsdeckung ermittelt und vorzeitig bei Fehlfunktionen eingegriffen werden.

Im letzten Schritt wird die An- bzw. Abkopplung für den autonomen Inselmodus eingerichtet und erprobt sowie bei Bedarf die die Schwarzstartfähigkeit getestet.

Der hiermit verbundene Aufwand sowie die Kosten steigen mit dem nachzurüstenden Bedarf an Technologie an. Im Idealfall wird das Microgrid von Grund auf geplant. Ideal hierfür sind Neubaugebiete. Hier könnte die gesamte Infrastruktur direkt auf die entsprechende Verwendung angepasst werden. Eine günstige Ausrichtung der Gebäude zur Solarstromerzeugung, Leitungsführungen und Speichersysteme könnten direkt in der Planung berücksichtigt werden. Da Neubauten unter die Energieeinsparverordnung (EnEV) fallen, sind diese nach neuestem Stand der Technik und energieverbrauchssarm zu bauen. Problematisch für die Bauherren ist die zwanghafte Teilnahme im Microgrid und die zusätzlich erhöhten Kosten durch technischen Voraussetzungen für den Inselmodus.

3 Blockchain

In diesem Kapitel wird zuerst die Entstehung und der allgemeine Aufbau sowie die technische Funktionsweise der IT-Technologie Blockchain vorgestellt. Auf wesentliche Teilaspekte, welche für die Steuerung eines Microgrid von Relevanz sind, wird vertieft eingegangen.

Anschließend wird die Bedeutung der Blockchain-Technologie für die Energiebranche erörtert und ein Pilotprojekt vorgestellt.

3.1 Entstehung

Für ein besseres Verständnis der IT-Technologie Blockchain werden der Ursprung und einzelne Entwicklungsschritte zur Konzeptionierung der Technologie wie sie heutzutage Anwendung findet, vorgestellt. Abbildung 4 zeigt die wichtigsten Meilensteine der Entwicklung auf.

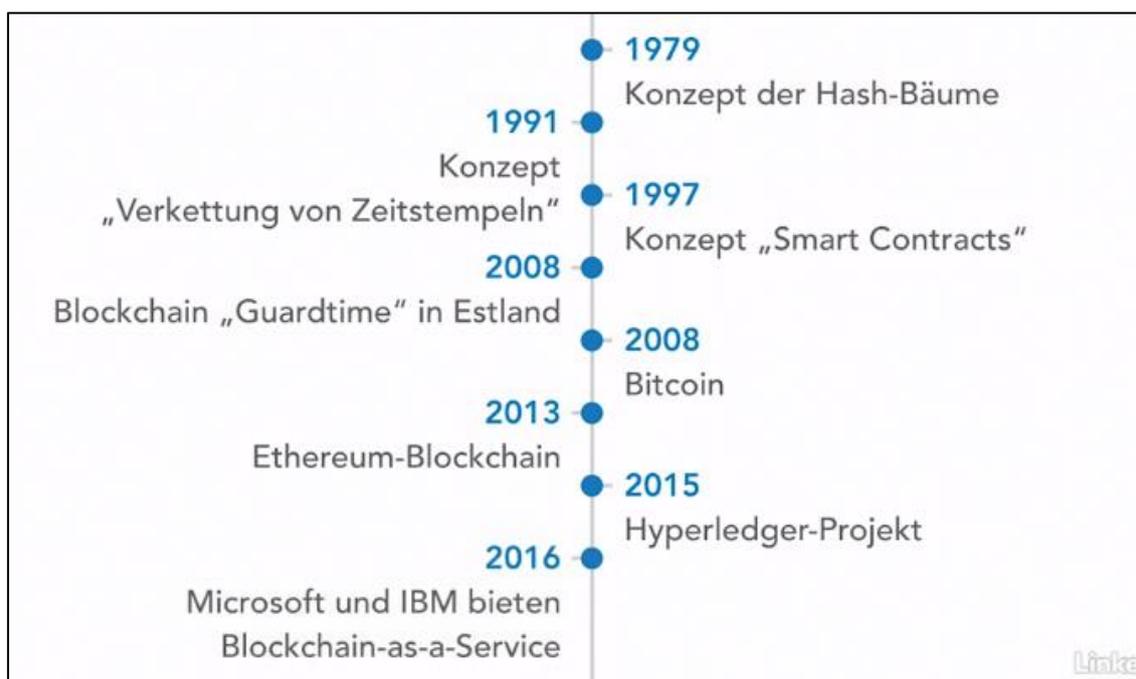


Abbildung 4 - Entstehung der IT-Technologie Blockchain (Burgwinkel, 2018)

Den ersten Schritt bildet die Einführung von „Hash-Bäumen“ im Jahr 1979. Ein Hash-Baum dient zur Datenstrukturierung und kann zusätzlich in der Kryptografie angewandt werden. Das Grundkonzept ist das Verketteten von Datensätzen über einzelne Hash-Werte. Den Ursprung bildet hierbei der Root-Hash oder Master-Hash, welcher als erster Hash den Grundstein legt und ab diesem sich die Verbindungen verzweigen. (Schiller, 2018)

Ein weiterer wichtiger Baustein war die Einführung zur „Verkettung von Zeitstempeln“. Dieses Verfahren kommt in den modernen Blockchain-Anwendungen zur Verkettung von Datenblöcken immer noch zur Anwendung.

Weiterer Bestandteil heutiger Blockchain-Anwendungen sind „Smart Contracts“. Ein Smart Contract ist ein computerbasiertes Protokoll, welches die Abwicklung oder Überprüfung eines virtuellen Vertrages technisch ermöglicht ohne das hierbei direkter Kontakt zwischen beiden Parteien entsteht. Hierdurch wird der Transaktionsaufwand reduziert und die Kosten gesenkt. (Sanchez, 2017)

Im Jahr 2008 wurde „Bitcoin“, die weltweit bekannteste Blockchain-Anwendung für Kryptowährungen vorgestellt. Die Blockchain hat eine geschätzte Größe von ca. 167 GB (Stand: 06. Mai 2018), wobei ein Block eine Durchschnittsgröße von 0,81 MB aufweist. Die Wachstumsrate erfolgt hierbei seit dem Jahr 2016 annähernd linear mit einem Zuwachs von ca. 4,1 GB pro Monat. Die Transaktionsquote im Jahr 2018 weist durchschnittlich ca. 225.000 Transaktionen pro Tag bei einem Handelsvolumen von über 500 Millionen US-Dollar pro Tag auf. Die Gesamtsumme aller Bitcoins beträgt über 17 Millionen Stück. (Blockchain, 2018)

Abbildung 5 zeigt den am 07 Mai 2018 um 15:30 Uhr eingefügten Block #521629 in die Bitcoin Blockchain.

Block #521629

Zusammenfassung		Hashes	
Anzahl der Transaktionen	2309	Hash	000000000000000000000013a65422dc113c0d19ccbcd2816e76b151e2866106417
Ausgang insgesamt	26,855.78454915 BTC	Vorheriger Block	00000000000000000000003d44ad869e01564250fa5c1156615bd1ca58becd1b4114
Geschätztes Transaktionsvolumen	1,592.632792 BTC	Nächster Block	
Transaktions Gebühren	0.61696813 BTC	Merkle Root	0fbb157c3691107c7e79fa038b20af12b6ebedf70bcda5e500fb1854392c9b76
Height	521629 (Hauptchain)		
Zeitstempel	2018-05-07 15:30:54		
Empfangene Zeit	2018-05-07 15:30:54		
Weitergeleitet von	BTC.com		
Schwierigkeit	4,022,059,196,164.95		
Bits	390462291		
Größe	1318.855 kB		
Gewicht	3992.866 kWU		
Version	0x20000000		
Nonce	3398117340		
Block Reward	12.5 BTC		

Abbildung 5 - Block #521629 der Blockchain Bitcoin (Blockchain, 2018)

Nach der Erfolgsgeschichte „Bitcoin“ breitete sich die Anwendung weltweit und branchenübergreifend aus. Heutzutage findet sie Anwendung im Banken und Finanzwesen, bei Versicherungen, der Immobilienbranche, dem Gesundheitswesen und vielen Weitern.

3.2 Aufbau und Funktionsweise

Mit dem Begriff „Blockchain“ wird das Konzept zur dezentralen Speicherung von kryptografisch verschlüsselten Daten und Ereignissen oder zur Durchführung von Transaktionen beschrieben (Chitchyan & Murkin, 2018).

Zu Beginn erzeugt ein Benutzer (User) eine Transaktion und übersendet diese dem System. Das System überprüft die Gültigkeit und fügt diese bei. Die angesammelten Transaktionsdaten werden komprimiert und in Datenblöcken zusammengefasst. Jeder vollständige Block erhält einen individuellen Hash, welcher mit der persönlichen Unterschrift vergleichbar ist und über diesen er an seinen Vorgänger angehängt wird. Der Hash eines Blockes dient im folgenden Block als Prüfeinheit, im weiteren Previous Hash genannt und ermöglicht die Sicherstellung einer Manipulationsbarriere. Durch diese Anreihung von Blöcken entsteht eine Kette – die Blockchain. (Schütte, et al., 2017)

Die Speicherung erfolgt über alle Teilnehmer der Blockchain. Jeder Netzknoten, die Nodes, stellt dem System seine Hardware zur Verfügung und speichert ein komplettes Abbild, welches fortlaufend aktualisiert wird. Die Berechnungen erfolgen ebenfalls knotenübergreifend. Hierdurch ist keine zentrale Instanz erforderlich. (Schütte, et al., 2017)

Abbildung 6 zeigt einen stark vereinfachten Aufbau einer Blockchain.

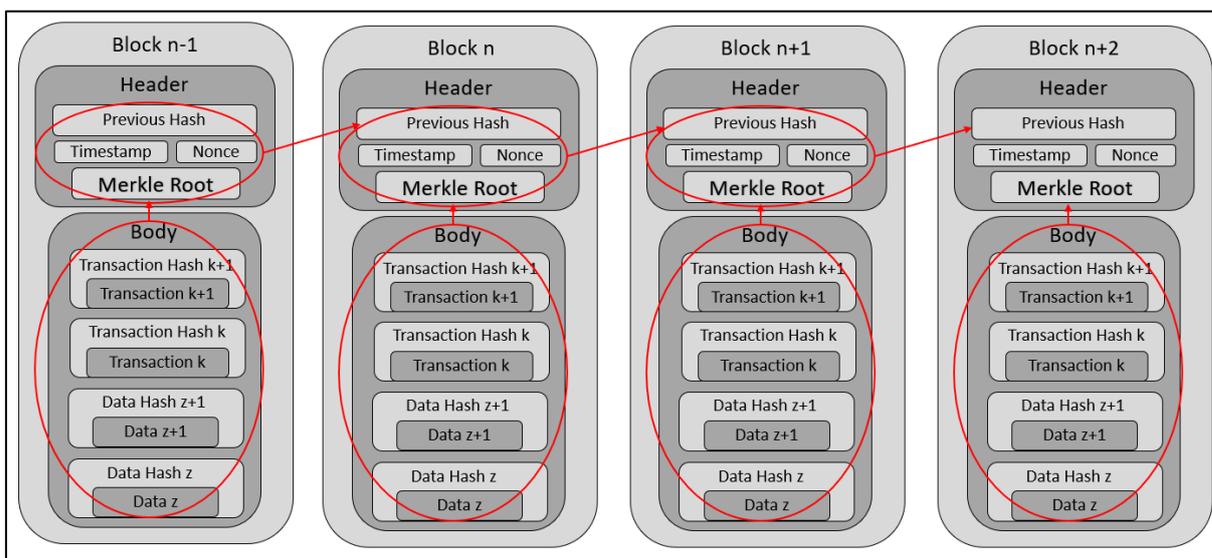


Abbildung 6 - Schematischer Aufbau einer Blockchain

Im Folgenden wird jedes Bauteil einer Blockchain genauer analysiert, die verschiedenen Aufbauarten vorgestellt und die wichtigsten Anwendungen für die Steuerung eines Microgrid erklärt.

3.2.1 Öffentliche oder Private Blockchain

Der grundlegende Unterschied zwischen einer privaten und öffentlichen Blockchain sind die Zugangsbedingungen. Bei einer öffentlichen Blockchain kann jeder, durch die Erstellung eines Nutzerkontos teilnehmen ohne spezielle Randbedingungen erfüllen zu müssen. Jedoch sind teilweise private Informationen zur Identifikationsbestätigung anzugeben. (Prof. Dr. Strüker, Albrecht, Reichert & Schmid, 2017)

Bei einer privaten Blockchain ist der Zugriff auf Daten und die Teilnahme bzw. die Einsicht für Transaktionen nur den Teilnehmern vorbehalten. Außenstehende haben keinen Zugriff und sehen nur die Existenz der Blockchain. Das Anlegen eines Nutzerkontos unterliegt strengeren Anforderungen und die Angabe von privaten Daten ist Voraussetzung. (Prof. Dr. Strüker, Albrecht, Reichert & Schmid, 2017)

Durch diese Identifikationsverfahren sind private Blockchain-Anwendungen sicherer. Außenstehende haben keinen Zugriff auf Transaktionsdaten und können die Blockchain nicht einsehen. Überdies gibt es innerhalb einer privaten Blockchain die weitere Unterscheidung zwischen öffentlichen oder privaten Transaktionen. Öffentliche Transaktionen können von allen Nutzern eingesehen werden, wo hingegen private Transaktionen ausschließlich von den Handelspartnern eingesehen werden können. (Prof. Dr. Strüker, Albrecht, Reichert & Schmid, 2017)

Durch die gezielte Auswahl der Teilnehmer entsteht ein weiterer Vorteil. Durch die reduzierte Teilnehmerzahl wird die Transaktionsleistung untereinander gesteigert. Bei öffentlichen Systemen ist diese, durch die Blockgröße sowie die Erstellungsdauer eines Blockes, begrenzt. Transaktionsprozesse zu verbessern ist gegenwärtig Teil der Forschung „Lightning Network“ im Bitcoin-System.

Durch schnellere Transaktionen und Blockbildungen kann die Pufferspeicherzeit, in welcher die Informationen noch nicht in einem vollständigen Block komprimiert abgespeichert sind, reduziert werden. Je schneller das System ist, desto geringer ist der Aufwand im System und die Kosten können reduziert werden.

Private Blockchain-Anwendungen werden meist durch einen zentralen Provider unterhalten. Dieser stellt teilweise Rechenleistung und Speicherplatz zur Verfügung. Hierdurch ergibt sich jedoch eine Sicherheitslücke in Bezug auf die Manipulierbarkeit.

Ein leicht modifizierter Aufbau der öffentlichen Blockchain ist die Konsortial-Blockchain. Diese beschreibt einen zweckmäßigen Zusammenschluss selbst agierender Unternehmen aus wirtschaftlichen Gründen.

Hierdurch können Kosten und Aufwand für alle Beteiligten reduziert und die Transparenz verbessert werden. Beispielhaft hierfür ist die Verwendung in der Logistikbranche zur Einsparung von Frachtpapieren und Geldflussüberwachung. (Kolbe, 2018)

Die folgende Tabelle 1 zeigt alle wesentlichen Unterschiede zwischen den Aufbauarten.

	 Öffentlich	 Privat	 Konsortial
Zugang	Offen zugänglich (permissionless)	Nur zugelassene Teilnehmer (permissioned)	Nur zugelassene Teilnehmer (shared permissioned)
Personenbezug	Identitäten geschützt durch Pseudonym	Bezug herstellbar	Bezug herstellbar
Geräteauthentifizierung	Nicht erforderlich	Erforderlich	Bedingt
Generierung von Datenblöcken	Dezentral durch Ressourceneinsatz	Zentral möglich durch einzelne(n) Computer/Server	Je nach Ausgestaltung: zentral oder dezentral
Konsensmechanismus ¹²	→ <i>Proof-of-Work</i> → <i>Proof-of-Stake</i>	→ <i>Proof-of-Stake</i> → <i>Proof-of-Authority</i>	→ <i>Proof-of-Work</i> → <i>Proof-of-Stake</i> → <i>Proof-of-Authority</i>
Manipulierbarkeit/ IT-Sicherheit	Eingriff sehr schwer, dezentrale Kontrolle	Eingriff möglich durch zentralen Provider	Je nach Ausgestaltung
Weiterentwicklung der Blockchain/Spielregeln	Niedrige Flexibilität, Zustimmung von mindestens 50 % Rechenkapazität notwendig für Änderung	Hohe Flexibilität	Konsens in Konsortium notwendig
Geschwindigkeit der Transaktionen	Langsam (auf Basis von → <i>Proof-of-Work</i>)	Tendenziell schnell	Schneller als Öffentliche
Energieverbrauch	Hoch (auf Basis von → <i>Proof-of-Work</i>)	Tendenziell niedrig	Tendenziell niedrig
Betriebskosten des Gesamtsystems	Hoch	Vergleichsweise niedrig	Mittel bis niedrig
Betriebskosten eines einzelnen Knotenbetreibers	Niedrig	Je nach Umfang: mittel bis hoch	Je nach Umfang: mittel bis niedrig
Digitale Währung	Als Anreizmechanismus (in der Regel)	Optional	Optional, aber → <i>Tokens</i> sind hilfreich

Tabelle 1 - Unterschiede der Aufbauformen einer Blockchain (Prof. Dr. Strüker, Albrecht, Reichert & Schmid, 2017)

Die Begriffe „Proof of Work“, „Proof of Stake“ und „Proof of Authority“ werden in Kapitel 3.2.3 *Entstehung einer Block-Kette durch Validierung* ausführlich erklärt.

3.2.2 Aufbau eines Blocks

Der einzelne Block besteht aus den zwei Hauptsegmenten Header („Kopf“) und Body („Körper“), welche wiederum in Teilsegmente aufgeteilt sind. Der Header ist aus folgenden Bausteinen aufgebaut (Hülsbömer & Genovese, 2018):

1. Hash des vorherigen Blockes, auch „Previous Hash“ genannt
2. Zeitstempel („Timestamp“) wann der Block erstellt wurde
3. Zufallswert („Nonce“ = „number used only once“)
4. Merkle Root des Hash-Baumes im Body

Aus diesen Angaben wird der Hash des Blockes erzeugt und dient im folgenden Block als Previous Hash. Des Weiteren sind über dieses Verfahren allgemeine Informationen als Metadaten für die Analyse und das Verständnis über die Zusammensetzung des Bodys gespeichert.

Häufig sind diese Daten wirtschaftlich zu betrachten, da hier Transaktionsvolumen und Anzahl sowie Größe, Rang und weitere Informationen gegeben sind. Teilweise enthält der Header noch die Angabe „Difficulty“, welche die Schwierigkeit des Blockerstellungprozesses beschreibt. Dies ist vor allem für Kryptowährungen wichtig, da hierbei mit steigender Schwierigkeit die Belohnung für die Erstellung des Blockes steigt (Hülsbömer & Genovese, 2018). Die vorherige Abbildung 5 zeigt alle Informationen auf, welche sich aus einem Bitcoin-Header entnehmen lassen.

Der Body eines Blockes ist aus den einzelnen Datensätzen und Transaktionen sowie den zugehörigen Hash-Werten aufgebaut. Grundlage sind die einzelnen Transaktionen, wie z.B. die Überweisung einer Kryptowährung oder Registrierung eines Dokuments, welche durch den jeweiligen Teilnehmer bzw. Sender erzeugt und digital signiert werden. Eine abgeschlossene Transaktion wird an das Netzwerk gesendet und an alle beteiligten Knoten verteilt. Diese überprüfen die Gültigkeit der Transaktion und fügen sie bei einer positiven Validierung in die Blockchain ein. Bei diesem Prozess wird die Transaktion in ein standardisiertes Format überführt, alle einzelnen Aussagen in Hashwerte kodiert und hierarchisch verdichtet, um abschließend in einem Block gespeichert zu werden. (Schütte, et al., 2017)

Das Ergebnis der Verdichtung der einzelnen Aussagen ist der Hash-Baum aus welchem sich eine eindeutig repräsentative Aussage ableiten lässt. Diese wird als Merkle Root bezeichnet und ebenfalls als Hash im Header dargestellt. (Schiller, 2018)

Durch diese Kodierung entsteht eine hohe Systemsicherheit gegenüber Manipulationsversuchen. Ändert ein Node oder ein feindlicher Hacker in einer Transaktionshistorie nur einen Transaktionswert in einem Block, ändert sich der nachfolgende Transaktions-Hash. Dieser beeinflusst die Merkle Root und verursacht hierdurch die Neuberechnung des allgemeinen Hashs des Blocks. Der nachfolgende Block würde über seinen Previous Hash nicht mehr an den abgeänderten Block passen und die Kette würde brechen. Die Manipulation wäre für alle Teilnehmer sichtbar. (Schütte, et al., 2017)

Für eine Manipulation müsste somit die komplette Kette neu berechnet werden. Dies ist schwer möglich, da eine immense Rechenleistung von mindestens 51% des Netzwerkes benötigt würde. Als weiteres Hemmnis für eine Manipulation gilt, dass der Angreifer zeitlich allen weiteren Teilnehmern zuvorkommen müsste, die an weiteren Blöcken arbeiten. (Schütte, et al., 2017)

Hierdurch ist es auch nicht möglich aufgenommene Daten zu löschen. Fehlerhafte Informationen bleiben so dauerhaft in der Blockchain gespeichert, können aber über weitere Eingaben berichtigt werden.

Ein weiterer Vorteil dieser Struktur ist die Transparenz. Durch die Speicherung aller Daten kann jeder Teilnehmer je nach Aufbauart der Blockchain alle Transaktionen und Handelspartner einsehen. Hierdurch kann jeder Abschluss rückverfolgt und eindeutig zugeordnet werden.

3.2.3 Entstehung einer Block-Kette durch Validierung

Ist die Berechnung eines Blockes durch einen Node abgeschlossen, wird dieser an die Blockchain angehängt. Hierdurch entstehen neue Herausforderungen. Da simultan eine Vielzahl an Nodes neue Blöcke berechnet um dies anzufügen und jeder Knoten ein vollständiges Abbild des gesamten Systems abgespeichert hat, müssen sich alle Knoten auf eine Erweiterung einigen. Dies wird durch Konsensfindungsverfahren mit Hilfe von Konsens-Algorithmen ermöglicht. Virtuelle Kryptowährungen basieren auf dem Proof-of-Work (PoW) oder Proof-of-Stake (PoS) Prinzip. (Chitchyan & Murkin, 2018)

Bei einem System mit PoW Prinzip gibt es passive Netzknoten und Mining-Netzknoten. Beide Arten können Transaktionen annehmen und überprüfen. Die Aufnahme in die Blockchain zur Speicherung ermöglichen nur die Mining-Netzknoten. Diese sammeln die Daten, verdichten diese und fassen sie in einem Block zusammen. Bei Vollständigkeit des Blockes wird dieser angereicht. Dies legt eine komplizierte kryptografische Rechenaufgabe zu Grunde, welche durch den Teilnehmer gelöst und anschließend durch eine Belohnung validiert wird. Dieser Prozess nennt sich „Mining“. (Kaltofen, 2017)

Ziel der Rechenaufgabe ist es eine Zahl zu finden, welche als Hash dient und der Block hierdurch an die existierende Blockchain angehängt werden kann. Finden mehrere Miner einen passenden Hash und fügen ihren Block bei, wird die Blockchain gespalten. Um dies zu unterbinden, gilt innerhalb der Blockchain das Mehrheitsprinzip. Dies bedeutet, der Block, welcher die meisten Informationen speichert, wird akzeptiert und alle weiteren aufgelöst. Die enthaltenen Informationen werden zurück ans System übermittelt. (Kaltofen, 2017)

Durch den Anreiz der Belohnung sind Miner untereinander Konkurrenten und bereit immer mehr Rechenleistung bereit zu stellen. Die Relevanz des einzelnen für das System spiegelt sich in der von ihm bereitgestellten Hardware-Leistung. Nachteil des Konzepts ist der mit steigendem Schwierigkeitsgrad zunehmende Zeit- und Energieaufwand zur Lösung der Aufgabe, wodurch diese Methode kostenintensiv ist (Kaltofen, 2017). Hierdurch ist der PoW ungeeignet für das Validierungsverfahren innerhalb eines Microgrid.

Das PoS-Verfahren entwertet die bereitgestellte Hardware-Leistung und basiert auf dem Prinzip der Gewichtung anhand des im Besitz befindenden Handelsvolumen. Hierdurch entscheidet der Konsens-Algorithmus, welcher Teilnehmer den nächsten Block validieren und beifügen darf. (Kaltofen, 2017)

Der Miner gibt eine bestimmte Menge seines Besitzes frei und benutzt diese zur Validierung des Blockes. Die verwendete Menge steht kurzzeitig nicht für weitere Transaktionen zur Verfügung, sondern wird über den Validierungsprozess eingefroren. Grundlage hierfür ist der Beweis, dass ein gewisser Anteil am System gehalten wird (Kaltofen, 2017). Wer beispielhaft 10% aller Währungseinheiten innerhalb einer Kryptowährung hält, könnte 10% aller Mining-Prozesse innerhalb des Systems abschließen. Als Belohnung erhält der Miner einen prozentualen Zinsanteil an den Transaktionen innerhalb des Blocks.

Vorteil dieses Vorgehens ist die Energieeinsparung der wegfallenden Rechenaufgaben sowie eine Verbesserung der inneren Sicherheit im System. Zusätzlich kann die Auswahl der Mining-Netzknotten über ein Zufallsverfahren ergänzt werden. Nachteilig ist, dass ein gewisser Grundbetrag für die Validierung einzelner Transaktionen erforderlich ist und das hieraus erfolgende Anlegerverhältnis.

Das PoS Verfahren ist vor allem für private Blockchain-Anwendungen von Relevanz, jedoch ist die Auswahl eines geeigneten Modells der Validierung vom konkreten Anwendungsfall abhängig. So ist etwa eine Kombination aus PoW und PoS möglich, der „Proof of Activity“. Hierbei fließen sowohl Vor-, als auch Nachteile beider Verfahren zusammen.

Das Prinzip des Proof of Authority (PoA) verzichtet gegenüber den vorherigen Algorithmen auf rechenintensive Validierungsprozesse und findet daher vor allem in privaten Blockchains Anwendung. Hierbei muss der Teilnehmer nur seine Berechtigung bzw. Identität über die Teilnahme und zur Durchführung von Transaktionen sowie seine Glaubwürdigkeit bestätigen. Teilnehmer mit der Berechtigung Blöcke zu validieren werden „Validators“ genannt. Die Prozesse laufen automatisch ab und der Validator muss nur seinen Node betreiben. Daher ist dieses Prinzip geeignet für die Blockchain-basierte Verwaltung eines Microgrid. (ohne Verfasser, 2018)

Innerhalb einer privaten Blockchain kann die Validierung auch durch ein ausgewähltes Konsortium stattfinden. Wird die Blockchain von einem Provider unterhalten, bietet sich hierbei ein zentraler Server an.

Weitere Konsensfindungsverfahren zur Validierung sind der „Proof of Burn“ und „Proof of Capacity“. Diese Verfahren werden nicht berücksichtigt.

3.2.4 Peer to Peer

Das Prinzip „Peer to Peer Connection“ (P2P) beschreibt ein System, in welchem alle einzelnen Netzknoten gleichberechtigt sind und jeder Netzknoten sämtliche Funktionen ausführen kann. Hierdurch entsteht eine robuste Verkettung, welche im Ausfall von einzelnen Netzknoten aktiv weiterbetrieben werden kann. Ein „Peer“ beschreibt hierbei einen am System teilnehmenden Computer. Jeder Peer stellt dem System zur Erhaltung Teile seiner Hardware-Ressourcen, wie etwa Festplattenspeicherplatz oder CPU-Rechenleistung, zur Verfügung. (Schütte, et al., 2017)

Obwohl alle Netzknoten ebenbürtig sind, können sie innerhalb der Blockchain in verschiedene Funktionsgruppen eingeordnet werden. Beispielhaft hierfür sind Mining-Netzknoten, passive Netzknoten oder nur teilnehmende, nicht vollständige Netzknoten.

Im Fall eines vollständigen Knotens wird die gesamte Blockchain auf dem Gerät abgespeichert und bei aktiver Teilnahme im Netzwerk fortlaufend aktualisiert. Dies bedeutet, dass die in einer Blockchain gespeicherten Informationen nicht verloren gehen oder zerstört werden können, weil dies bedeuten würde, jeden einzelnen Knoten im Netzwerk zerstören zu müssen. Solange ein einzelner Knoten mit einer Kopie einer Blockchain existiert, bleiben daher alle Datensätze intakt, was die Möglichkeit bietet, das Netzwerk neu aufzubauen.

Hierdurch unterscheiden sich P2P-Netzwerke vollständig von herkömmlichen Client-Server-Modellen. Innerhalb eines herkömmlichen Client-Server-Modelles gibt es einen zentralen Speicherort, den Server, welcher alle Informationen zentral abspeichert. Im Falle eines Ausfalles oder Beschädigung wäre hierdurch das ganze System nicht funktionsfähig.

Im P2P werden Informationen ständig zwischen allen Teilnehmern des Netzwerks ausgetauscht und aufgezeichnet. Dies unterscheidet sie ebenfalls von einem zentralisierten Servermodell, welches mit steigender Nutzerzahl verlangsamt und den einzelnen Usern weniger Leistung zur Verfügung stellen kann. Bei ein P2P-Netzwerk nimmt die Leistung zu, je mehr Geräte oder Knoten dem Netzwerk beitreten.

Durch dieses System innerhalb einer Blockchain ist keine zentrale Instanz zur Kontrolle und Leitung nötig, da die User direkt untereinander agieren. Die Blockchain gewährleistet hierbei Informationen und Identitäten der Teilnehmer durch eine hochkomplexe Kryptographie auf dem neuesten Stand der Technik vollständig zu verbergen.

3.2.5 Nutzerkonto und Transaktionsprozesse

Hier kommt ein weiterer Vorteil ins Spiel, die Pseudonymität. Die häufigsten Blockchain-Anwendungen sind nicht anonym, sondern pseudonym. Um in einer Blockchain agieren zu können, wird ein Nutzerkonto, das „Wallet“, benötigt. Für die Erstellung sind die jeweiligen Nutzungsbedingungen zu berücksichtigen. Teilweise ist dies nur über die Angabe persönlicher Daten möglich.

Für die Wallet wird das Konzept der „Key-Kryptographie“ verwendet. Dies beschreibt die mathematische Verbindung zweier Schlüssel, dem „Public-Key“ und dem „Private-Key“ über einen Algorithmus. Der Public-Key wird in eine öffentliche Adresse umgewandelt und entspricht der für jeden sichtbaren "Kontonummer". Der Private-Key wird nicht offenbart, da er Teil der digitalen Unterschrift ist, mit der jede Transaktion signiert wird. Er kann mit der persönlichen „PIN“ verglichen werden. Die nahezu unendlich große Anzahl möglicher Schlüssel macht es beinahe unmöglich, einen solchen zu "erraten". Jede Transaktion erhält die individuelle Signatur der Wallet und kann somit nur einer Absenderadresse zugeordnet werden. Hierdurch ist jeder Transfer direkt rückverfolg- und zuordnungsbar. (Neumann, Dr. Demidova & Kohlhoff, 2017)

Innerhalb des Microgrid mit Blockchain-Steuerung kann das Wallet als Online-Konto zur direkten Bezahlung angesehen werden. Das Handelsgut wäre elektrische Energie oder eventuell Wärmeleistung. Es müsste keine Kryptowährung als Bezahlmedium eingeführt werden, sondern Nutzer können Euro-Beträge von ihrem Bankkonto direkt auf das Wallet transferieren oder Abbuchungsberechtigungen erteilen. (Neumann, Dr. Demidova & Kohlhoff, 2017)

Folgendes Beispiel soll eine Transaktion zwischen zwei Usern veranschaulichen:

Teilnehmer A möchte von Teilnehmer B eine Leistung kaufen. Hierfür muss A mit dem Netzwerk über eine vollständig synchronisierte Node verbunden sein. Für den Transaktionsprozess übermittelt B seinen Public-Key an A. Hierdurch hat A Einsicht auf die Kontodaten von B aber keine Zugriffsrechte.

A erstellt eine Transaktion, in der folgendes aufgezeichnet wird: die Absenderadresse (Public-Key von A), das Handelsvolumen und die Empfängeradresse (Public-Key von B). A signiert die Transaktion mit seinem Private-Key und verifiziert damit alle Angaben. Die vollständige

Transaktion wird an das Netzwerk versendet und veröffentlicht. Alle Knotenpunkte im Netzwerk überprüfen daraufhin die Transaktion.

Zuerst wird anhand der Absenderadresse (Public-Key von A) und Unterzeichnung (Private-Key von A) geprüft, ob die Transaktion vom Besitzer des privaten Schlüssels verifiziert wurde. Hierdurch wird die Korrektheit der Transaktion sichergestellt. Ist dies der Fall wird die Transaktion in einen Block aufgenommen.

A übersendet B die Bezahlung und erhält im Gegenzug die eingekaufte Leistung.

Dieser Prozess ist in Abbildung 7 vereinfacht dargestellt und beschreibt das Übersenden von Bitcoins.

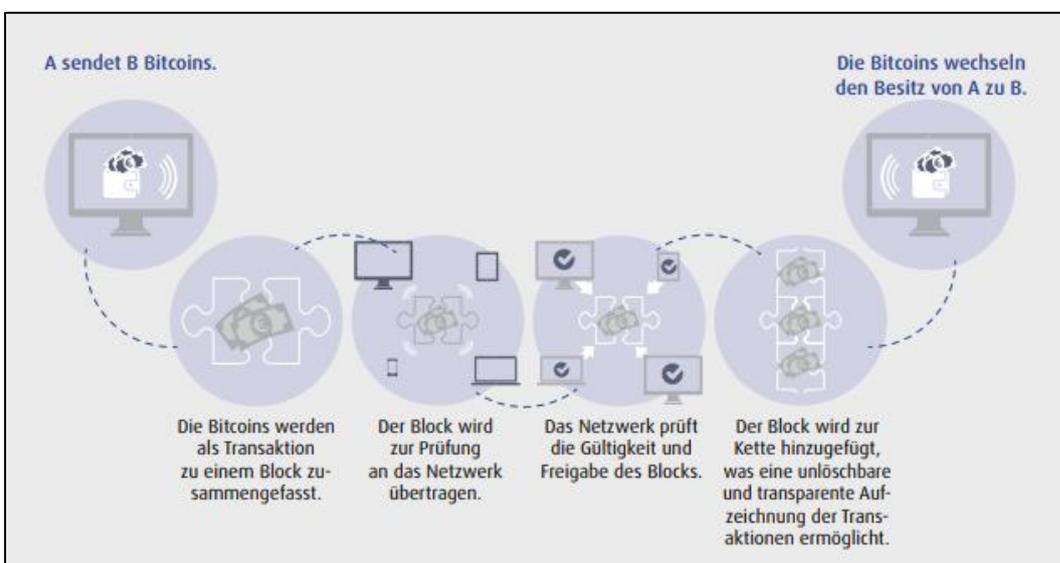


Abbildung 7 - Ablauf einer Bitcoin-Transaktion innerhalb einer Blockchain (Neumann, Dr. Demidova & Kohlhoff, 2017)

Die Abbildung 8 zeigt eine beispielhafte Anreihung von Transaktionen zur Bildung eines Blocks innerhalb einer Blockchain. Hierbei wird auf die Verwendung des öffentlichen Public-Key und des privaten Private-Key zur Verifikation und Signatur eingegangen.

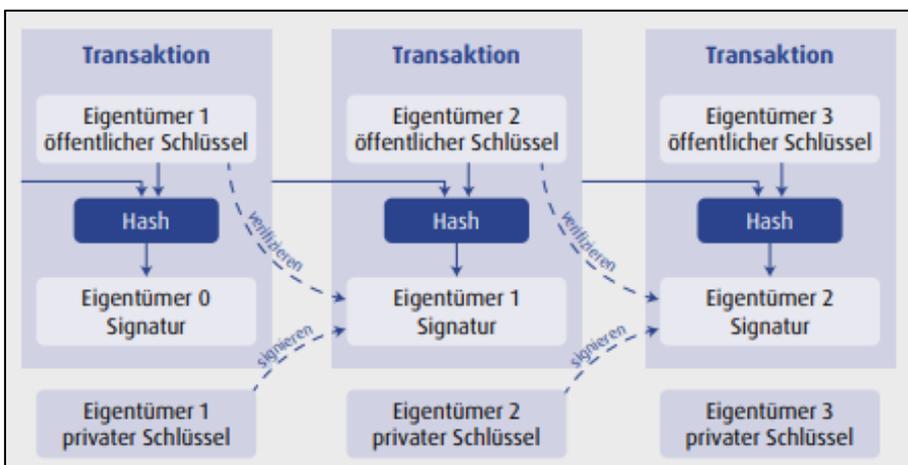


Abbildung 8 - Verifizieren und Signieren einer Transaktion (Neumann, Dr. Demidova & Kohlhoff, 2017)

3.2.6 Smart Contract

Mit Hilfe von Smart Contracts ermöglicht Blockchain eine Automatisierung von Prozessen, Regularien und Organisationsprinzipien. Sie bilden durch Computeralgorithmen analoge Verträge digital ab und erleichtern hierdurch die Vertragsverhandlungen, den Abschluss sowie die Transaktion an sich. Smart Contracts spezifizieren, was innerhalb einer Transaktion auszuführen und zu prüfen ist sowie welche Folgeaktivitäten geplant sind. Hierdurch können Bedingungen und Vertragsklauseln autonom durchgesetzt werden. Dies kann bis zu einem vollautomatischen Vertragsabschluss bei Inkrafttreten festgelegter Ereignisse führen. Beispielhaft wäre der Einkauf von Energie über eine Strom-Handelsplattform bei einem Verbrauchsanstieg. (Schütte, et al., 2017)

Für den Einsatz von Smart Contracts sind Grundbedingungen zu erfüllen. Da innerhalb einer Blockchain alle Informationen irreversibel sind, muss jeder Vertrag in sich selbst korrekt sein, um keine Angriffsfläche gegenüber Hacking aufzuzeigen. Problematisch hierbei sind schwer erkennbare Programmierungsfehler über die Angreifer Zugriff erlangen können.

Eine weitere Angriffsmöglichkeit ergibt sich durch das Einfügen von bösartigen Smart Contracts. Um dies zu unterbinden, sind formale Verifikationsschritte zur Identifikation erforderlich. Da ein sinnvoller Einsatz eine aufwändige Entwicklung und entsprechendes Technologie-Knowhow voraussetzt, sind Erweiterungen kosten- und zeitintensiv zu programmieren. Beispielhaft hierfür ist die Einführung des „why3-Frameworks“ als Sicherheitserweiterung in Ethereum. (Schütte, et al., 2017)

Dennoch bieten Smart Contracts Vorteile für die Steigerung der Effektivität und Sicherheit von Vertragsabschlüssen und Transaktionen. Überdies können Verwaltungskosten durch eine Prozessautomatisierung gesenkt werden. (Rentrop & Augsten, 2017)

Der wichtigste Vorteil der Anwendung ist das in der Regel Drittparteien zur Verifikation der Gültigkeit, wie etwa notarielle Beglaubigungen, entfallen. Das Netzwerk und alle teilnehmenden Nodes führen diese aus und aktualisieren die Statusänderungen in allen abgespeicherten Versionsläufen. Dies spart weitere Kosten ein.

Das Fraunhofer-Verbund IUK-Technologie forscht und entwickelt Technologien und Anwendungen im Bereich Smart Contracts in Blockchain-Systemen und veröffentlichte im November 2017 den aktuellen Stand in einem Positionspaper. (Schütte, et al., 2017)

3.2.7 Kontinuierlicher Doppelauktions – Mechanismus

Um innerhalb des Microgrid unabhängig vom öffentlichen Stromnetz arbeiten zu können, ist ein durchgehender Ausgleich zwischen Überschüssen und Defiziten nötig. Die Blockchain realisiert hierbei den direkten Informations- und Wertetransfer zwischen Angebot und Nachfrage. Dies kann über kontinuierliche Doppelauktionen, aus dem Englischen „continuous double auction“, durchgeführt werden. (Wang, Wang, Zhou & Chi, 2017)

Eine kontinuierliche Doppelauktion besteht aus zwei wesentlichen Teilschritten. Der erste Teilschritt ist das Löschen bisheriger, nicht wahrgenommener Handloptionen des vorherigen Handelsintervalls, sowie das Auflisten der neuen Angebote und Nachfragen. Die gelöschten Handloptionen werden im ablaufenden Handelsintervall erneut mit aufgenommen. (Wang, Wang, Zhou & Chi, 2017)

Im zweiten Teilschritt werden alle Angebote und Nachfragen zur Erkennung von kompatiblen Geboten simultan abgeglichen. Ist eine Übereinstimmung zwischen den Angebots- und Nachfrageparametern gefunden, werden Verkäufer und Käufer automatisch verbunden und die Transaktion veranlasst. (Wang, Wang, Zhou & Chi, 2017)

Hierdurch entsteht eine Beziehung zwischen Defizit- und Überschussangeboten innerhalb eines Microgrids (Wang, Wang, Zhou & Chi, 2017). Dies zeigt die Notwendigkeit von Multikäufen sowie Multiverkäufen (Riva Saseveriono, Di Silvestre, Gallo, Zizzo & Ippolito, 2017), welche sich im Transaktionsablauf überlagern können auf. Ein Multiverkauf beschreibt das Aufteilen und Verkaufen eines Angebotes an verschiedene Interessenten, je nach Bedarf oder Preisangebot, während die Option Multikauf das Einkaufen von kleinen Teilen zur vollständigen Bedarfsdeckung bei verschiedenen Verkäufern etikettiert.

Beide Teilschritte ermöglichen kurze Transaktionszyklen und ein Marktgleichgewicht zwischen Käufern und Verkäufern. Eine vollständige Bedarfsdeckung kann erreicht werden.

Die Handloptionserstellung kann automatisch durch Algorithmen wie Smart Contracts gesteuert und vollautomatische abgewiegt werden. Hierfür geben die Benutzer bestimmte Handelsparameter wie minimaler bzw. maximaler Preis oder Stromgestehungsart als Grundvoraussetzung ein. Das System gleicht über einen Smart Meter den aktuellen Verbrauch bzw. Überschuss mit dem Marktgeschehen ab und agiert je nach Ausgangslage.

Nachfolgendes Beispiel zeigt ein Transaktionsablauf zwischen mehreren Parteien. Hierbei werden vier verschiedene Angebote und fünf Nachfragen zu vier Zeitpunkten bearbeitet, dies ist in Tabelle 2 aufgezeigt.

t ₀		t ₁		t ₂		t ₃	
Verkäufer I		Verkäufer II		Verkäufer IV		Käufer V	
Angebot [E]	5	Angebot [E]	20	Angebot [E]	15	Bedarf [E]	5
Preis [U/E]	1,4	Preis [U/E]	1,3	Preis [U/E]	1,5	Max [U/E]	1,4
Min [U/E]	1,4	Min [U/E]	1,2	Min [U/E]	1,3		
Käufer I		Verkäufer III		Käufer IV			
Bedarf [E]	10	Angebot [E]	20	Bedarf [E]	5		
Max [U/E]	1,3	Preis [U/E]	1,5	Max [U/E]	1,6		
		Min [U/E]	1,3				
Käufer II		Käufer III					
Bedarf [E]	15	Bedarf [E]	25				
Max [U/E]	1,6	Max [U/E]	1,6				

Tabelle 2 - Angebote und Nachfragen der Teilnehmer

Zum Zeitpunkt t₀ bietet Verkäufer I (V I) 5 Einheiten zu einem Preis von 1,4 Units/Einheit (U/E) bei einem Minimalpreis von 1,4 U/E. Simultan sucht Käufer I (K I) 10 Einheiten zu einem Maximalpreis von 1,3 U/E und Käufer II (K II) 15 Einheiten zu einem Maximalpreis von 1,6 U/E. Die erste Transaktion findet zwischen Verkäufer I und Käufer II mit 5 Einheiten zu 1,4 U/E statt. Dies ergibt ein Gesamtvolumen von 7 Units für 5 Einheiten. Da Käufer I einen Maximalpreis von 1,3 U/E bietet und Verkäufer I einen Minimalpreis von 1,4 U/E voraussetzt, werden sich beide nicht handelseinig.

Alle weiteren Transaktionen sind in Tabelle 3 gelistet und in Abbildung 9 ist der zeitliche Verlauf für die Verkäufer sowie in Abbildung 10 der zeitliche Verlauf für die Käufer veranschaulicht.

Transaktion	Verkäufer	Käufer	Einheiten E	E/U	Units U	Zeitpunkt
1	I	II	5	1,4	7	t ₀
2	II	I	10	1,3	13	t ₁
3	II	II	10	1,3	13	t ₁
4	III	III	20	1,5	30	t ₁
5	IV	III	5	1,5	7,5	t ₂
6	IV	IV	5	1,5	7,5	t ₂
7	IV	V	5	1,4	7	t ₃

Tabelle 3 - Transaktionsverlauf

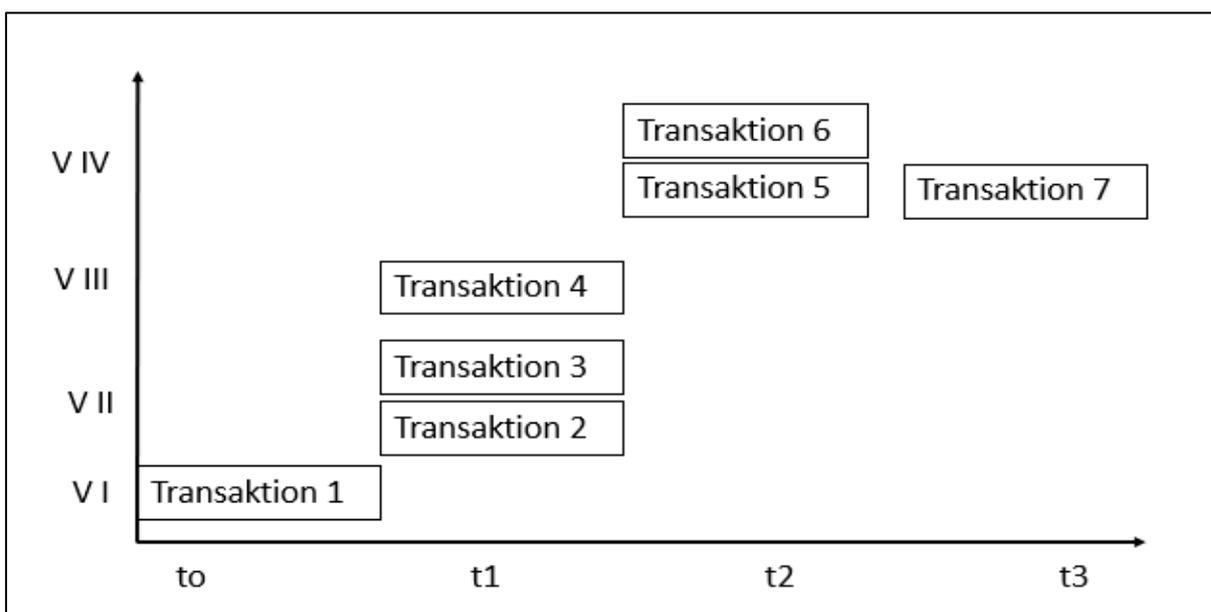


Abbildung 9 - Transaktionsverlauf Verkäufer

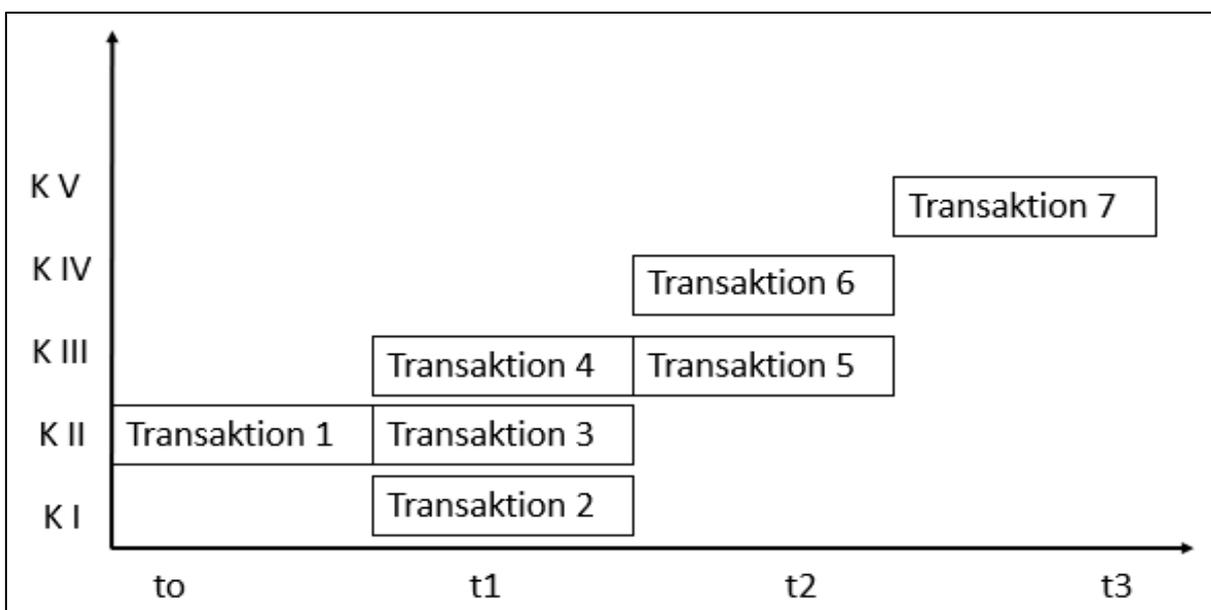


Abbildung 10 - Transaktionsverlauf Käufer

Den Abbildungen ist zu entnehmen, dass Verkäufer II zum Zeitpunkt t_1 eine Transaktion mit Käufer I als auch Käufer II abschließt. Ebenfalls ist zu erkennen, dass Käufer III seinen Bedarf zum Zeitpunkt t_1 nicht vollständig aus dem Angebot von Verkäufer III decken kann, sondern zum Zeitpunkt t_2 ein weiteres Angebot von Verkäufer IV annimmt. Durch diese, sich überlagernden Transaktionen kann, bei ausreichendem Angebot der Bedarf im Microgrid flexibel gedeckt werden.

Die Preisgestaltung innerhalb eines Microgrid kann entweder individuell oder gemeinschaftlich festgelegt werden (Riva Saseveriono, Di Silvestre, Gallo, Zizzo & Ippolito, 2017).

Energietransaktionen und Verlustzuweisung in blockchainbasierten Microgrids ist Teil der Forschungsarbeiten der University of Palermo in Italien. Bisherige Ergebnisse wurde durch ein Paper im Rahmen der internationalen Konferenz von „Internet of Things (iThings) and IEEE Green Computing and Communications (GreenCom) and IEEE Cyber, Physical and Social Computing (CPSCom) and IEEE Smart Data (SmartData) 2017“ veröffentlicht. (Riva Saseveriono, Di Silvestre, Gallo, Zizzo & Ippolito, 2017)

3.2.8 Preisstrategie eines aggressiven Markmodells

Da innerhalb des Microgrid eine maximale Eigennutzung der erzeugten Energie unter wirtschaftlichen Rahmenbedingungen im Fokus liegt und nicht der Verkauf der generierten Energie zu Gewinnzwecken, ist eine Preisgestaltung innerhalb des Microgrid passiv zu gestalten. Hierbei verkaufen die einzelnen Teilnehmer ihre Überschüsse untereinander zu Konditionen der wirtschaftlichen Deckung der Gestehungskosten. (Wang, Wang, Zhou & Chi, 2017)

Überschüsse, welche nicht im Microgrid verbraucht oder zur späteren Nutzung zwischengespeichert werden, können über die Netzanbindungsstellen in das öffentliche Stromnetz eingespeist und zu Gewinnzwecken verkauft werden. Hierbei sind mehrere Strategien zum Verkauf denkbar. Zuerst wird der Eigenverbrauch innerhalb des Microgrid vollständig gedeckt und mögliche private Speichermöglichkeiten ausgeschöpft. Anschließend ergeben sich mehrere Optionen:

1. Vollständiges Laden des internen Microgrid-Hauptspeichers bevor Überschüsse verkauft werden.
2. Teilweises Laden des internen Microgrid-Hauptspeichers und Verkauf von Überschüssen, abhängig vom Marktpreis.
3. Laden des internen Microgrid-Speichers oder Verkauf der Überschüsse, abhängig vom Marktpreis.

Das optimale Potenzial bietet die Variante 2 da sich hier sowohl Energiereserven für ertragsarme Zeiten speichern, als auch bei Engpässen am Energiemarkt maximale Gewinne erzielen lassen. Grundlage für einen Verkauf von Überschüssen an der Strombörse ist ein Mindestertrag. Optional kann der Überschussstrom auch zu gesetzlichen Rahmenbedingungen eingespeist und vergütet werden oder anderweitig verkauft werden.

Eine Option, ist ein übergeordnetes Smart-Grid oder Individualvereinbarungen mit Verbrauchern. (Wang, Wang, Zhou & Chi, 2017)

Für einen Verkauf bietet eine Blockchain-Anwendung die Möglichkeit einer adaptiv-aggressiven Preisgestaltung. Hierbei wird unter ständiger Marktanalyse ein Lernprozess zur optimalen Preisgestaltung betrieben.

Dieses Marktmodell wurde innerhalb einer Studie an der Chongqing University und Nanyang Technological University in China erforscht und ist in Abbildung 11 exemplarisch dargestellt (Wang, Wang, Zhou & Chi, 2017).

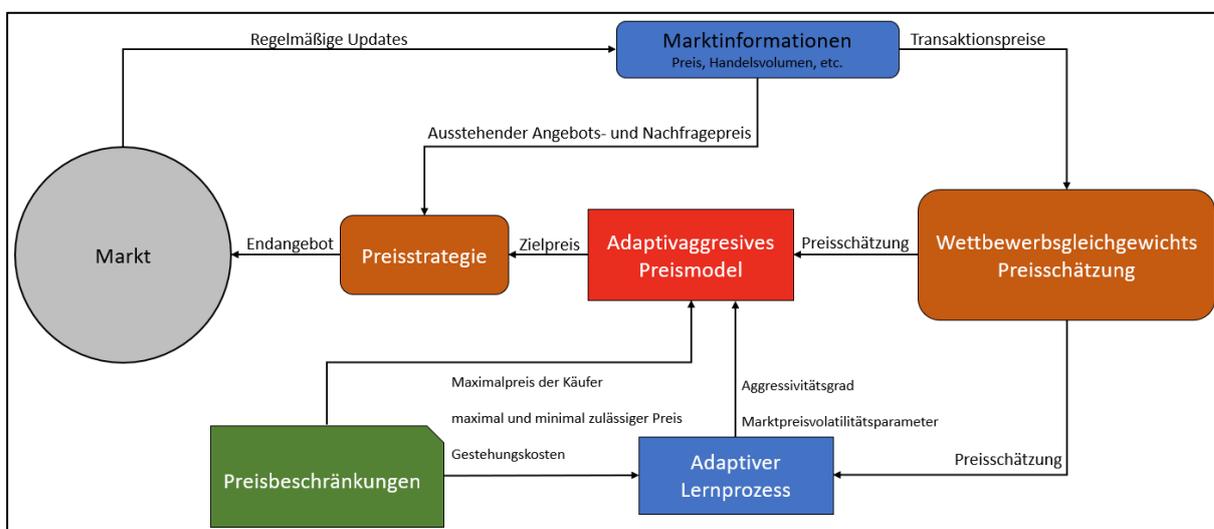


Abbildung 11- Adaptivaggressives Marktmodell

Über regelmäßige Updates des Marktgeschehens zu Preisniveau, Handelsvolumen und weiteren Informationen werden ausstehende Angebots- und Nachfragepreise ermittelt. Die Transaktionspreise des aktuell gelaufenen Handelsvolumens dienen als Grundlage für eine Preisschätzung. Über einen adaptiven Lernprozess wird das Preismodell fortlaufend an den Markt angepasst. Hierdurch soll unter Berücksichtigung von Preisbeschränkungen immer ein ideal-gewinnorientiertes Endangebot an den Markt übermittelt werden. (Wang, Wang, Zhou & Chi, 2017)

Gesetzliche Rahmenbedingungen wie Steuersätze und Umlageabgaben wurden hierbei nicht betrachtet, sondern auf Grund ihrer Komplexität vernachlässigt. Des Weiteren sind die Grundlagen und Konditionen sowie Ausnahmeregelungen für einen Energiehandel innerhalb eines Microgrid gesetzlich noch nicht eindeutig festgelegt.

3.3 Blockchain in der Energiebranche

Aufgrund der Eigenschaften der Blockchain und dem Wandel zu einer dezentralen und voll digitalisierten Energiegewinnung, ergeben sich vielfältige Anwendungsmöglichkeiten innerhalb der Energiebranche.

Da der Wandel zu einer Echtzeit-Energiewirtschaft ein fließender Prozess ist, werden hierfür schnelle und zuverlässige Verwaltungsmechanismen benötigt. Mit Hilfe der Technologie Smart Contract können komplexe Prozesse automatisiert und digital zwischen den Akteuren abgewiegelt werden. Die Funktionen P2P bieten die Möglichkeit eines dezentralen Netzwerkes, an dem jeder teilnehmen kann. Dies ermöglicht die Teilnahme von Haushalten und kleinen Unternehmen aktiv am Marktgeschehen über Interaktionen teilzunehmen.

Organisatorische Abläufe wie Stromanbieterwechsel, Systemdienstleistungen und Vergütung sowie Umlagen, Abgaben und Besteuerung können effizienter gestaltet werden. Hierdurch würden für alle Akteure Dokumentationsprozesse wegfallen und die allgemeine Verwaltung schlanker gestalten. Interne Prozessbeschleunigung würde zudem weitere Kosten senken. Manche Experten schätzen mit Einsparungen von bis zu 80 % in manchen Bereichen der operativen Kosten (Prof. Dr. Strüker, Albrecht, Reichert & Schmid, 2017).

Eventuell benötigte Drittinstanzen würden auf Grund des Systemaufbaus ebenfalls wegfallen und hiermit verbunden Kosten eingespart werden. Einzelne Akteure bietet sich hierdurch die Gelegenheit unabhängiger zu agieren und die eigene Vermarktung selbstständig zu verwalten.

Dr. Michael Merz, Gründer und Geschäftsführer der PONTON GmbH, äußerte sich hierzu vollgundermaßen: *„Die Marktteilnehmer versprechen sich vor allem vom Einsatz der Blockchain, die Organisation des Handels in die eigene Hand zu nehmen und ihn nicht Dritten zu überlassen [...]. Auf diese Weise werden Marktzugangs- und Transaktionskosten gespart.“*

Jedoch ermöglicht die Blockchain nicht nur die Optimierung vorhandener Prozesse, auch können mit ihrer Hilfe neue Konzepte realisiert werden. Mit der wachsenden Digitalisierung steigt die Nutzung des „Internet-der-Dinge“ (IoT = „Internet of Things“). Diese ermöglicht die Kommunikation und Steuerungen von vernetzten Geräten. Beispielhaft hierfür ist das Einschalten der Waschmaschine bei ausreichender Stromgewinnung über die hauseigene PV-Anlage. Dieses vernetzte Lastmanagement ist nicht nur in Haushalten, sondern in öffentlichen Gebäuden und Unternehmen ebenfalls einsetzbar.

Geeignete Anwendungsbereiche sind Beleuchtung, Belüftung, Warmwasserbereitung und Heizung. (Prof. Dr. Strüker, Albrecht, Reichert & Schmid, 2017)

Ein weiterer Aspekt sind regulatorische Anforderungen an den Energiemarkt. Durch die Einführungen und Erweiterungen von Gesetzen entsteht eine zunehmend komplexere Marktkommunikation. Hierdurch steigt der Bedarf an digitalen, sowie automatisierten Elementen und Prozessen zur Optimierung der Marktkommunikation und zur effizienten Steuerung der Marktprozesse. Weitere Rahmenbedingung sind der Datenschutz, IT-Sicherheit und Zuverlässigkeit des Systems. (Neumann, Dr. Demidova & Kohlhoff, 2017)

Die nachfolgende Abbildung 12 zeigt laut einer Umfrage des Bundesverbandes *der Energie- und Wasserwirtschaft* (bdew-Energie.Wasser.Leben) den Stand zu allen aktiven Unternehmen, Projekte und Initiativen mit Anwendungen der Blockchain Technologie in der Energiebranche für Europa im Februar 2018 auf.

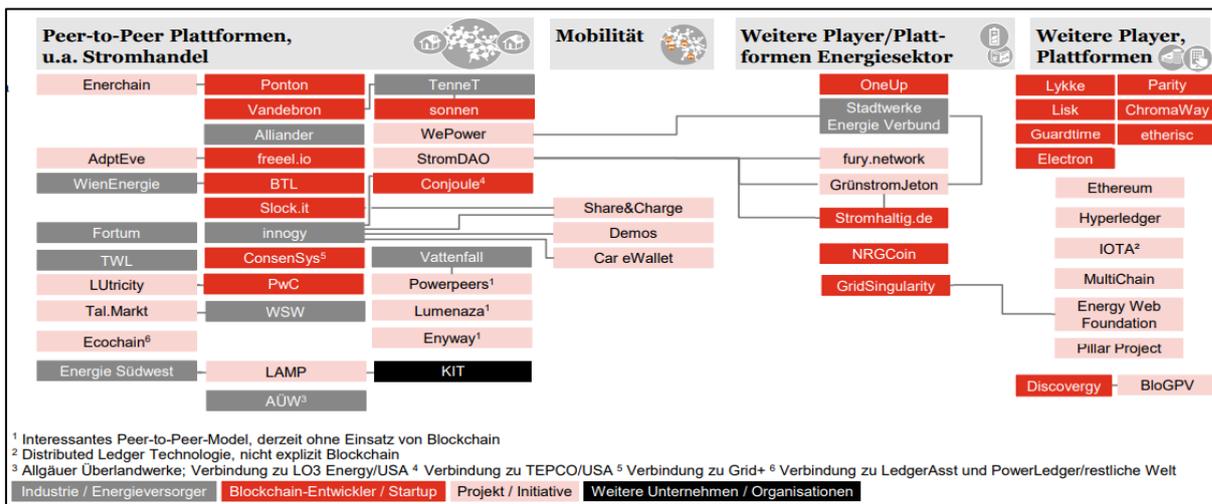


Abbildung 12 - Blockchain Radar (von Perfall & Utescher, 2018)

Die bdew hat für die Identifikation vielversprechender Anwendungsgebiete innerhalb der Energiewirtschaft eine Studienarbeit unter Leitung von Prof. Dr. Jens Strüker im Oktober 2017 veröffentlicht. Innerhalb der Studie sind vor allem Wertschöpfungspotenziale in den folgenden Bereichen ermittelt worden (Prof. Dr. Strüker, Albrecht, Reichert, & Schmid, 2017):

- Messwesen
- Marketing und Vertrieb
- Handel und Beschaffung
- Übertragung und Verteilung
- Erzeugung und Speicherung

3.4 Pilotprojekt - Handelsplattform „Tal.Markt“ Wuppertal

Eine der deutschlandweit bekanntesten Anwendungen der Blockchain-Technologie innerhalb der Energiebranche ist der digitale Marktplatz „Tal.Markt“ für erneuerbare Energie aus der Region Wuppertal.

Die *Wuppertaler Stadtwerke* (WSW) bieten als weltweit erster kommunaler Energieversorger mit „Tal.Markt“ eine Öko-Strom Handelsplattform an, über welche Kunden ihren Strommix individuell zusammenstellen und über lokale Erzeugung einkaufen können. Für eine Teilnahme ist einzig ein Nutzerkonto auf der P2P Elblox-Plattform zu erstellen und die individuellen Einstellungen vorzunehmen (Flaiger, 2017). Die energietechnische Abwicklung erfolgt über die *Wuppertaler Stadtwerke*, welche die blockchainbasierte Handelsplattform in Kooperation mit dem Schweizer Unternehmen *Axpo* betreiben. Einzige Anforderung an den Kunden ist der Verbau eines Smart Meters, welcher im 15 - Minutentakt den Verbrauch bzw. die Einspeisung erfasst und dem System übermittelt. Dies bedeutet, dass theoretisch der individuell bestellte Strommix alle 15 Minuten angepasst werden kann. (Högel, 2018)

Für den Verbraucher entstehen die in Abbildung 13 aufgezeigten Vorteile.



Abbildung 13 - Vorteile der Handelsplattform Tal.Markt (WSW-Tal.Markt, 2018)

Der Hauptvorteil für den Verbraucher ist der Bezug von Strom aus umweltfreundlicher und nachhaltiger lokaler Erzeugung. Ebenfalls kann er direkt aus verschiedenen Anbietern und Energiegewinnungsformen auswählen. Beispielfür hierfür sind mehrere private Solaranlagen, zwei Blockheizkraftwerke sowie eine Wasserturbine. Alleine die *Genossenschaft Bürgerwind Cronenberg* erzeugt über ihre Windkraftanlagen ca. 450.000 kWh. Hiermit können 140 bis 145 Haushalte laut Anlagenbetreiber mit Energie versorgt werden. (WSW, 2018)

In ertragsarmen Stunden deckt die WSW die Stromversorgung über umweltfreundliche KWK-Anlagen der *Abfallwirtschaftsgesellschaft GmbH* ab (WSW, 2018). Hierdurch ist für den Endverbraucher eine gesicherte Versorgung garantiert. (Flauger, 2017)

Für Produzenten ergeben sich durch die Plattform die in Abbildung 14 aufgezeigten Vorteile.

 <p>Energie einfach verkaufen</p> <p>Sie haben eine Solaranlage auf dem Dach Ihres Hauses oder eine Biogasanlage auf Ihrem Gelände und produzieren Strom? Mit Tal.Markt können Sie die überschüssige Energie ganz einfach verkaufen.</p>	 <p>Zusätzliche Einnahmequelle</p> <p>Sie erhalten weiterhin eine feste Einspeisevergütung und zusätzlich einen Bonus aus der Direktvermarktung ohne Risiken.</p>	 <p>Unkomplizierte Abwicklung</p> <p>Die WSW kümmern sich um die gesamte energiewirtschaftliche Abwicklung, beispielsweise die Abrechnung und Ausfalllieferung gegenüber Kunden, falls die Sonne nicht scheint oder der Wind nicht weht und so kein Strom erzeugt wird.</p>
--	---	---

Abbildung 14 - Vorteile der Produzenten(WSW-Tal.Markt, 2018)

Über das P2P System der Plattform Elblox können Produzenten ihre Überschüsse direkt und einfach verkaufen (Flauger, 2017). Die Überschüsse werden in das örtliche Stromnetz eingespeist und über diese an die Endverbraucher verteilt. Die WSW übernimmt die energiewirtschaftliche Abwicklung der Transaktionen und deckt Ausfälle ab (WSW, 2018).

Der Region kommen die in Abbildung 15 verdeutlichten Vorteile zu Gute.

 <p>Energieversorgung sicherstellen</p> <p>Die WSW sorgt für ein stabiles Energie-Netz in Wuppertal und einen reibungslosen unterhalt der Stromversorgung.</p>	 <p>Umwelt- und Klimaschutz</p> <p>Die WSW fördert den Ausbau regenerativer Energien und engagieren sich für den Klimaschutz.</p>	 <p>Regionale Verankerung</p> <p>Lokale Verantwortung ist ein wesentlicher Bestandteil der Firmenphilosophie, damit leisten die WSW einen wichtigen Beitrag zur Lebensqualität in Wuppertal.</p>
--	---	--

Abbildung 15 - Profite für die Region Wuppertal(WSW-Tal.Markt, 2018)

Der WSW zufolge hat Tal.Markt ein hohes Marktpotenzial und verbindet erstmalig Anbieter und Endkunden. Insbesondere bietet die Plattform Anlagenbetreibern eine Perspektive nach dem Auslauf der EEG-Förderzeit. (Högel, 2018)

4 Microgrid mit Blockchain-Steuerung

Innerhalb der Energiebranche stehen alle Zeichen auf Veränderung. Ein wesentlicher Paradigmenwechsel ist die Umgestaltung von einer zentralen konventionell betriebenen Energiegewinnung hin zu einer nachhaltigen und ressourcenschonenden Erzeugung. Schlagwörter hierfür sind die „4D´s“ (Dr. Wolter, 2018):

- *Dezentralisierung*
- *Digitalisierung*
- *Demokratisierung*
- *Dekarbonisierung*

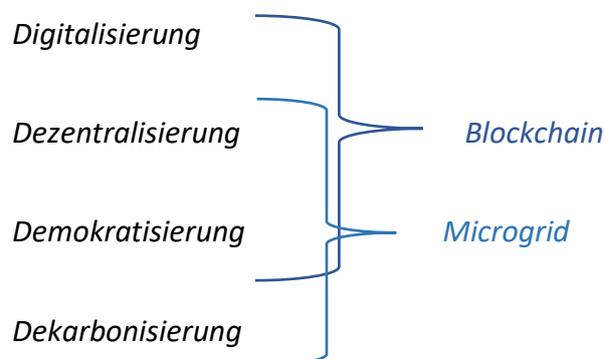
Dies führt zu einer Machtverschiebung im Energiemarkt von den etablierten Energieversorgern hin zu kleineren, dezentral aufgebauten Gestehtungsanlagen (Dr. Wolter, 2018). Durch die steigende Stromgestehungs- und Einspeiserate im privaten als auch industriellen Sektor werden bisherige Konsument zu Prosumenten (Produzent und Konsument) und in Folge dessen, unabhängiger von großen Energieversorgern. Dies und der Einspeisevorrang von regenerativ erzeugten Strom vor konventioneller Erzeugung sowie die Verpflichtung zur Bereitstellung von Backup-Leistung haben disruptive Auswirkungen auf Großversorger.

Ein teilweiser Wegfall bestimmter Geschäftsmodelle kann durch die Aufnahme und Vermarktung innovativer Herangehensweisen erfolgen. Hierbei spielen nicht nur regulatorische Eingriffe, sondern insbesondere Technologiesprünge eine Rolle. Diese ermöglichen ein breites Spektrum an neuen Dienstleistungen und eröffnen neue Marktmöglichkeiten innerhalb der Branche. Die Installation und Überwachung eines Microgrid mit Blockchain-Steuerung ist ein direktes Beispiel unter Berücksichtigung der 4D Eckpfeiler. (Dr. Wolter, 2018)

Das folgende Kapitel stellt die Kombinationsvorteile beider Technologieanwendungen in der Energiebranche vor und veranschaulicht diese an zwei Pilotprojekte.

4.1 Möglichkeiten in der Energiebranche

Zur Erfüllung der vier Eckpfeiler in der Energiewende tragen beide Technologien wesentliches Potenzial bei. Jede der Technologien erfüllt hierbei mehrere Punkte.



Das Hauptkriterium, welches die Blockchain erfüllt, ist die Digitalisierung zu einem vernetzten und smarten Energiemarkt und dessen Demokratisierung für die einzelnen Anwender und Bürger. Die Demokratisierung beschreibt in diesem Kontext, den Prozess vom passivem Verbraucher hin zu einem aktiven Marktteilnehmer, welcher an der Gestaltung direkt teilnimmt und seine Vorstellungen einbringt. Weiterer Vorteil der Technologie ist die aufbaubedingte Dezentralisierung und die Einsparung von Energie und Emissionen durch effizienzsteigernde Abläufe.

Durch die Einbindung vielfältiger dezentraler Energiequellen und den Verzicht auf konventionelle Kraftstoffe zur Stromgewinnung leistet ein Microgrid einen wesentlichen Anteil zur Dekarbonisierung der Branche. Da ein Teil der Anlagen im Privatbesitz sind, wird der Normalbürger vermehrt in die Branche mit eingebunden.

Für den privaten Sektor schafft die Technologiekombination den Vorteil sich seinen persönlichen Energiemix individuell zusammenstellen und diesen bis zur Quelle rückverfolgen zu können. Für den Konsumenten rückt der eigene Bedarf und Verbrauch in den Fokus und kann zu einem Umdenken anregen.

Eine weitere Möglichkeit für Privatproduzenten bietet die kostendeckende Vermarktung von Überschussstrom nach dem Wegfall der EEG-Einspeisevergütung (Bundesnetzagentur, 2018). Die Einspeisevergütung wurde im Jahr 2000 durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) zur Förderung zum Bau von privaten Solaranlagen erlassen. Das EEG regelt über dies die Vergütung für weiter regenerative Energiegestehungsmethoden wie Wind- und Wasserkraft.

Die Einspeisevergütungen sind für eine Dauer von 20 Jahren zuzüglich des Inbetriebnahmejahres für die, in das Netz eingespeiste Energie vom Versorger zu zahlen. (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2017)

Dies bedeutet, dass Anfang 2021 die ersten Photovoltaikanlagen aus dem EEG ausscheiden und der eingespeiste Überschussstrom nur noch zu geringeren Konditionen verkauft werden kann. Selbiges trifft auf Windkraft- und Wasserkraftanlagen, welche nach dem EEG vergütet werden, zu.

Für betroffene Anlagenbetreiber bleiben die Optionen einer Stilllegung, einer Repowering (Erneuerung am selben Standort) oder der weitere Betrieb unter anderen Konditionen. Bei einer noch nicht vollständig getilgten Anlage würde der Wegfall einer Vergütung deutliche Auswirkungen auf die wirtschaftliche Amortisation haben. Ebenfalls steigert das Preisgefälle den Anreiz einer größtmöglichen Autarkie bei einem privaten Strombezugspreis von ca. 29 Cent pro kWh (Stand 2017). Innerhalb des Microgrids könnte die Vermarktung des Überschussstromes unter wirtschaftlichen Aspekten für bei Seiten betrieben werden.

Für die Industrie bietet sich ebenfalls Chancen und neue Geschäftsfelder. So rückt die Entwicklung von Mess- und Regelungstechnik und entsprechender Zubau an energetischer Infrastruktur weiter in den Vordergrund. Die Installation und Verwaltung sowie Instandhaltungsaufgaben von vernetzten Anlagen und die Entwicklung von IT-Systemen bietet neue Möglichkeiten.

Zu berücksichtigen sind jedoch die Auswirkungen für bisherige Großenergieversorger. Das sich stetig wandelnde Marktumfeld setzen die Branche durch die direkte Konkurrenz der Privaterzeugung unter finanziellen Druck. Große Unternehmen müssen ihre Strukturen anpassen und frühzeitig in die neuen Bereiche investieren.

Da die progressive Kombination bisher allerdings nur wenig getestet ist, ist es jetzt noch nicht möglich alle Auswirkungen für die einzelnen Akteure, sei es positiv oder negativ, abzuschätzen.

4.2 Pilotprojekte

Die nachfolgenden Pilotprojekte sollen die Bedeutung und Vorteile an konkreten Anwendungen aufzeigen.

Das „Brooklyn Microgrid“ in New York ist eines der bekanntesten Praxisbeispiele weltweit. Projektpartner sind das amerikanische Startup *LO3 Energy* und die *Digital Grid Division* der deutschen *Siemens AG*.

Das deutsche Pilotprojekt „LAMP“ in Landau ist eine im Jahr 2017 gestartete Kooperation des *Karlsruher Institut für Technologie*, des *Energie Südwest* Konzerns und *LO3 Energy*.

4.2.1 „Brooklyn Microgrid“ Projekt in New York

Das „Brooklyn Microgrid“ ist ein 2015 gestartetes Pilotprojekt eines Nachbarschaftsmodells für den Verkauf von lokal gewonnenem Öko-Strom über eine blockchainbasierte P2P Handelsplattform. Die ersten Transaktionen erfolgten im April 2016. (Breuer, 2018)

Das IT-Knowhow für die Blockchain-Anwendung wurde durch *LO3 Energy* entwickelt und wird aktuell durch selbiges Unternehmen verwaltet. Entsprechende Hardware wie Smart Meter oder Konverter und die Einbindung in die Plattform basieren auf Technologien des Kooperationspartners *Siemens Digital Grid Division*. Für eine nutzerfreundliche Anwendung wurde eigens eine Nutzer-App entwickelt. (Breuer, 2018)

4.2.2 „LAMP“ Landau Microgrid Project

Das Pilot- und Forschungsprojekt „LAMP“ in Landau Lazarettgarten untersucht die Marktpreisbildung, entstehende Marktmechanismen und die öffentliche Akzeptanz für lokale Nachbarschafts-Energiemärkte auf Blockchainbasis (Mengelkamp, 2017).

Hierfür wurden 20 Haushalte untereinander vernetzt und können über eine lokale Plattform Stromhandel betreiben. Für die Stromgestehung stehen mehrere im Jahr 2017 errichtete Photovoltaikanlagen zur Verfügung. Die Datenerfassung erfolgt über kostenlos verbaute Smart Meter, welche eine Live-Datenauswertung und Verfolgung des Verbrauchs bzw. der Gewinnung, ermöglichen. (Dr. Grajcarek, 2017)

Die Handelsplattform ging zu Jahresbeginn 2018 online und stand zu Beginn nur für Funktionstest und zur Eingewöhnung zu Verfügung. Der aktive Handelsprozess findet in drei Phasen zu je ca. 3 Monaten statt. Der Zeitraum der ersten Handelsphase war vom 01.03.2018 bis 31.05.2018. Aktuell läuft die zweite Handelsphase vom 01.06.2018 bis 31.08.2018. Als Abschlussdatum des Projekts ist der 31.12.2018 vorgesehen. (Dr. Grajcarek, 2017)

Die Teilnahmebedingung ist der Verbau eines Smart Meter sowie die kostenfreie Nutzung der systemeigenen App über ein zur Verfügung gestelltes Endgerät zur Datenverfolgung. In dieser sind Preisvorstellung und weiter Daten variierbar. Ebenfalls kann der Nutzer seine aktuellen Messdaten abrufen. Die Transaktionen zur Sicherstellung der Energieversorgung werden automatisch abgewickelt. (Mengelkamp, 2017)

Eine Veröffentlichung der Daten und Erforschungsergebnisse wird schätzungsweise im Jahr 2019 über das *KIT* und die weiteren Kooperationspartner erfolgen.

5 Fazit und Ausblick

Abschließend werden nochmals alle wichtigen Vorteile zusammengefasst und offene Fragen angesprochen.

5.1 Zusammenfassung und Fazit

Da eine Kombination beider Technologien ein innovatives und bisher wenig erforschtes Gebiet ist, ist das Potenzial einer Symbiose für die Energiebranche und den Energiewandel ist aus heutiger Sicht schwer abzuschätzen. Jedoch geht die Mehrheit der Forscher und Unternehmen von bemerkenswerten Neuerungen und bisher unerkannten Möglichkeiten aus und investiert verstärkt in beide Bereiche. Hierfür entstehen weltweit Pilotprojekte zur Erforschung aller Einsatzmöglichkeiten und Vorteile. Die wichtigsten Bausteine der Technologien, welche den Wandel zu einer regenerativen und emissionsarmen Energieversorgung unterstützen sollen, sind in Abbildung 16 kurz zusammengefasst.

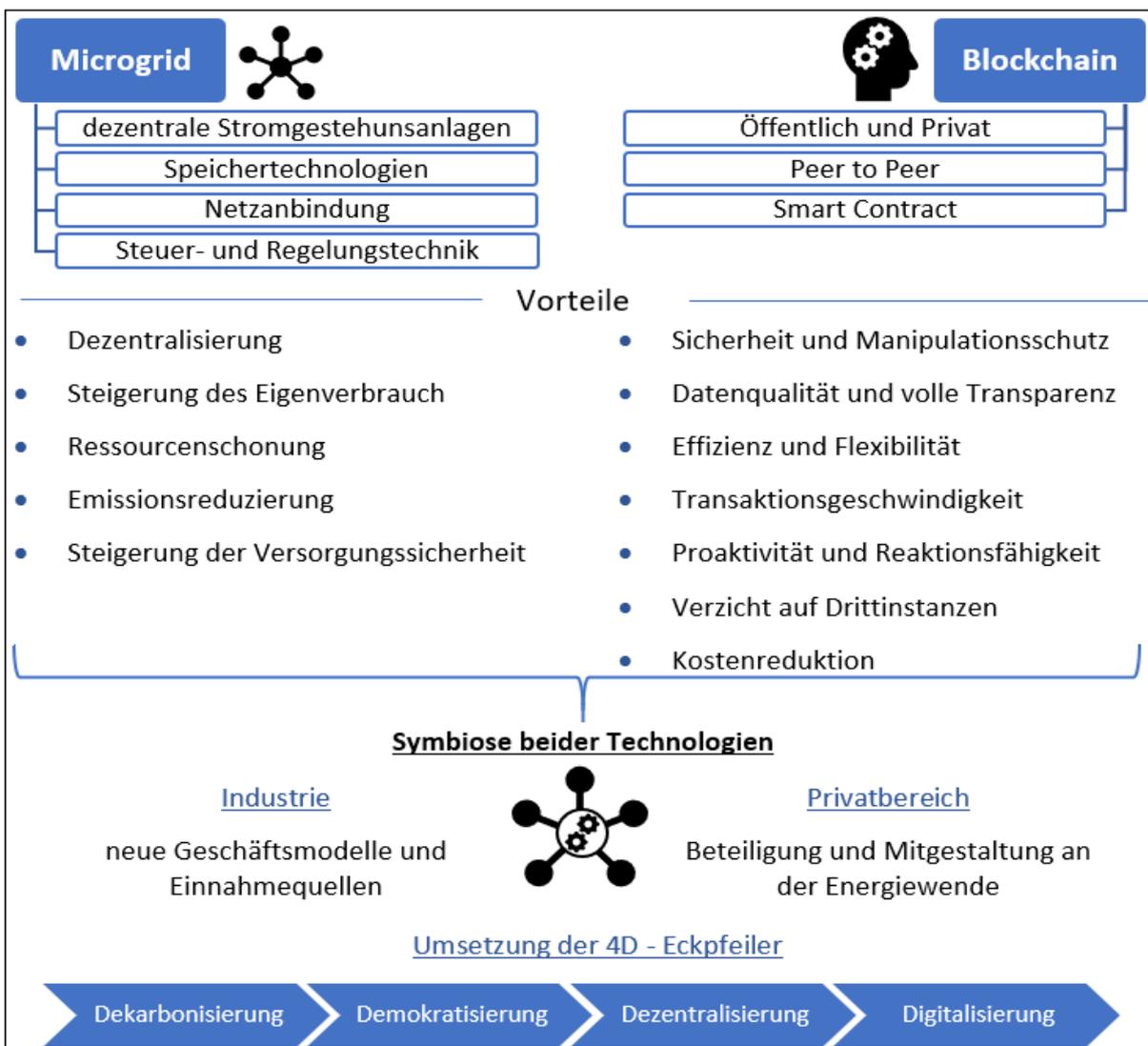


Abbildung 16 - Symbioseschema E-Manage Micro-Chain

Bei einer Kombination, bringen beide Technologien ihre Vorteile mit ein und ergänzen sich hierdurch ideal. Dies ist direkt an der Umsetzung der 4D – Eckpfeiler der Energiewende zu erkennen. Weitere wesentliche Vorteile, sollen durch Pilotprojekte erforscht und für industrielle und wirtschaftliche Modelle, als auch für Privatbereiche nutzbar gemacht werden.

5.2 Offene Fragen

Ein wesentliches Thema, welches in der Projektarbeit nicht betrachtet wird, ist der Aufbau von Smart Grids und die Integration von Microgrids in Smart Grids. Dieser Aufbau bietet weiteres Potenziale zur Dezentralisierung der Energiegewinnung auf Basis regenerativer Quellen.

Ein weiterer Aspekt ist die gezielte Analyse von Einsatzgebiete für Microgrids innerhalb der EMN. Hierbei müsste lokal die Erzeugerleistung mit dem Verbrauch abgeglichen und die infrastrukturellen Voraussetzungen an Speichermöglichkeiten, Leitung, etc. überprüft, zusammengefasst und analysiert werden. Teile dieser Arbeit wurden in eigenständigen Projektarbeiten innerhalb der Projektgruppe betrachtet und können als Basis für die Analyse dienen. Eine blockchainbasierte Systemsteuerung ist hierbei optional und anwendungsbedingt integrierbar. Möglichkeiten einer Sektorenkopplung im Bereich Wärme und Verkehr zu Strom innerhalb eines Microgrid sind noch zu untersuchen.

- Bundesnetzagentur. (2018). *Smart Metering*. Abgerufen am 15. Mai 2018 von bundesnetzagentur.de: https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Mess-undZaehlwesen/Mess-undZaehlwesen/Smart_Metering/Smart_Metering_node.html
- Burgwinkel, D. (12. Februar 2018). *Blockchain – Ursprung, Konzept und Beispiele*. Abgerufen am 25. April 2018 von lynda.com: <https://www.lynda.com/de/Data-Science-tutorials/Blockchain-Ursprung-Konzept-Beispiele/669025/696693-4.html?autoplay=true>
- Chitchyan, R., & Murkin, J. (09. März 2018). *Review of Blockchain Technology and its Expectations: Case of the Energy Sector*. (C. University, Hrsg.) Abgerufen am 09. April 2018 von arxiv.org: <https://arxiv.org/pdf/1803.03567.pdf>
- Dr. Federau, E. (13. April 2016). *Ein Beitrag zur Konzeptionierung eines Leitsystems für steuerbare Microgrids*. (Technische Universität Cottbus, Hrsg.) Abgerufen am 21. April 2018 von opus4.kobv.de: <https://opus4.kobv.de/opus4-btu/frontdoor/index/index/docId/3768>
- Dr. Grajcarek, R. (2017). *Wollen Sie selbst entscheiden wo Ihr Strom herkommt?* (EnergieSüdwest, Herausgeber) Abgerufen am 15. Mai 2018 von energie-suedwest.de: <http://www.energie-suedwest.de/unternehmen/projekte/lamp/>
- Dr. Paschotta, R. (22. Februar 2017). *Inselnetz*. Abgerufen am 30. Mai 2018 von energie-lexikon.info: <https://www.energie-lexikon.info/inselnetz.html>
- Dr. Rohring, K. (2017). *Windenergie Report Deutschland 2016*. (Fraunhofer IWES, Hrsg.) Abgerufen am 10. April 2018 von <http://windmonitor.iese.fraunhofer.de>: http://windmonitor.iese.fraunhofer.de/opencms/export/sites/windmonitor/img/Windenergie_Report_2016.pdf
- Dr. Wirth, H. (21. Februar 2018). *Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland*. (Fraunhofer ISE, Hrsg.) Abgerufen am 10. April 2018 von [iese.fraunhofer.de](http://www.iese.fraunhofer.de): <https://www.iese.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf>
- Dr. Wolter, H. (Januar 2018). Die vier "D-Trends" wirken immer deutlicher . *BWK - Das Energie-Fachmagazin*, S. 22 - 24.
- Ellermann, S. (17. Oktober 2016). *Deutschland: Gesetzliche Grundlagen*. (G. -G. Invest, Herausgeber) Abgerufen am 08. April 2018 von gtai.de: https://www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/Trends/EE-Produktion/Land-Deutschland/trend-land-deutschland.html?alertSearch=false&boost=&dateFrom=&dateTo=&formId=1534338&hitsPerPage=1000&searchTerm=&sort=date_asc&toggleFacet%5Btrends%5D=eep-gesetze
- EMN. (kein Datum). *Karten der EMN*. (S. Nürnberg, Hrsg.) Abgerufen am 05. April 2018 von metropolregionnuernberg.de: <https://www.metropolregionnuernberg.de/downloads/karten.html>
- Flauser, J. (20. November 2017). *Ökostrom direkt vom Erzeuger*. (Handelsblatt, Hrsg.) Abgerufen am 29. März 2018 von handelsblatt.com: <http://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/wuppertaler-stadtwerke-oekostrom-direkt-vom-erzeuger/20599886.html?ticket=ST-2843056-SuNabfOol7OzGALHRjSP-ap2>

- Florian. (08. Februar 2018). *Microgrids und die dezentrale Energiewende*. Abgerufen am 15. April 2018 von gridx.de: <https://gridx.de/2018/02/08/microgrids-und-die-dezentrale-energiewende/>
- Glauber, S. (Mai 2017). *Treibhausgasemissionen in Bayern*. (S. Bayern, Hrsg.) Abgerufen am 08. Mai 2018 von statistik.bayern.de: https://www.statistik.bayern.de/medien/statistik/BIZ/treibhausgasemissionen_in_bayern.pdf
- Heymann, P. (27. März 2015). *Endenergiebilanz und erneuerbare Energien in der Europäischen Metropolregion Nürnberg*. (E. n. GmbH, Hrsg.) Abgerufen am 23. April 2018 von <http://klimaschutz.metropolregionnuernberg.de>: http://klimaschutz.metropolregionnuernberg.de/fileadmin/microsite_klimaschutz/downloads/Endenergiebilanz_EMN_2013.pdf
- Högel, S. (2018). *Der Wuppertaler Tal.Markt – Wie die Blockchain den Stromvertrieb revolutionieren kann*. (Euroforum, Hrsg.) Abgerufen am 29. März 2018 von euroforum.de: <http://www.euroforum.de/stadtwerke/der-wuppertaler-tal-markt-wie-die-blockchain-den-stromvertrieb-revolutionieren-kann/>
- Hülsbömer, S., & Genovese, B. (26. März 2018). *Was ist ein Blockchain?* Abgerufen am 05. April 2018 von Computerwoche.de: <https://www.computerwoche.de/a/blockchain-was-ist-das,3227284>
- Ingram, E. (09. Mai 2017). *New Chinese pumped-storage hydro plant to be “world’s largest” when complete in 2021*. Abgerufen am 25. Mai 2018 von hydroworld.com: <https://www.hydroworld.com/articles/2017/09/new-chinese-pumped-storage-hydro-plant-to-be-world-s-largest-when-complete-in-2021.html>
- Iten, C. (22. Januar 2016). *Microgrids sind auf dem Vormarsch – und ich mittendrin*. Abgerufen am 12. April 2018 von abb-conversations.com: <https://www.abb-conversations.com/DACH/2016/01/microgrids-sind-auf-dem-vormarsch-und-ich-mittendrin/>
- Kaltofen, T. (16. Juni 2017). *Blockchain-Technologien im Detail*. (Computerwoche, Hrsg.) Abgerufen am 01. April 2018 von computerwoche.de: <https://www.computerwoche.de/a/blockchain-technologien-im-detail,3330877>
- Kolbe, M. (15. Januar 2018). *Kühne + Nagel testet Blockchain in der Logistik*. (Computerwoche, Herausgeber) Abgerufen am 19. April 2018 von computerwoche.de: <https://www.computerwoche.de/a/kuehne-nagel-testet-blockchain-in-der-logistik,3572699>
- Mengelkamp, E. M. (25. Oktober 2017). *LAMP - Landau Microgrid Project*. (KIT - Karlsruher Institut für Technologie, Herausgeber) Abgerufen am 15. Mai 2018 von im.iism.kit.edu: https://im.iism.kit.edu/1093_2058.php
- Neumann, S., Dr. Demidova, E., & Kohlhoff, M. (März 2017). *Potenziale der Blockchain in der Energiewirtschaft*. (EnergieExxeta, Hrsg.) Abgerufen am 06. Mai 2018 von exxeta.com: https://www.exxeta.com/fileadmin/Exxeta/Documents/Publikationen/2017-03_ew_Potenziale_der_Blockchain.pdf
- ohne Verfasser. (04. September 2017). *Microgrid gelungen*. (energy4.0, Herausgeber) Abgerufen am 15. Mai 2018 von industr.com: <https://www.industr.com/de/microgrid-gelungen-erster-inselnetzbetrieb-nur-mit-erneuerbaren-energ-2304004>

- ohne Verfasser. (15. April 2018). *Was versteht man unter Proof of Authority?* Abgerufen am 17. April 2018 von coin-report.net: <https://www.coin-report.net/de/proof-of-authority/>
- Pop, C., Cioara, T., Antal, M., Anghel, I., Salomie, I., & Bertocini, M. (09. Januar 2018). *Blockchain Based Decentralized Management of Demand Response Programs in Smart Energy Grids*. (Sensors, Hrsg.) Abgerufen am 17. April 2018 von mdpi.com: <http://www.mdpi.com/1424-8220/18/1/162/htm>
- Prof. Dr. Dr. Biechl, H., Dr. Buchstaller, D., Köberle, R., Mayr, K., Rindt, B., Sowa, T., & Armstorfer, A. (August 2013). *IREN2: Zukunftsfähige Netze zur Integration Regenerativer Energiesystemen*. Abgerufen am 17. Mai 2018 von egrid.de: http://www.egrid.de/wp-content/uploads/2013/08/etg-tagungsbandbeitrag_iren2_final.pdf
- Prof. Dr. Strüker, J., Albrecht, S., Reichert, S., & Schmid, J. (25. Oktober 2017). *Blockchain in der Energiewirtschaft - Potenziale für Energieversorger*. (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, Hrsg.) Abgerufen am 28. März 2018 von bdew.de: https://www.bdew.de/media/documents/BDEW_Blockchain_Energiewirtschaft_10_2017.pdf
- Reischböck, M. (16. August 2016). *Verteilnetz der Zukunft*. (energy4.0, Herausgeber) Abgerufen am 15. Mai 2018 von industr.com: <https://www.industr.com/de/verteilnetz-zukunft-1678302>
- Rentrop, C., & Augsten, S. (02. März 2017). *Was ist ein Smart Contract?* (D. Insider, Herausgeber) Abgerufen am 04. Mai 2018 von dev-insider.de: <https://www.dev-insider.de/was-ist-ein-smart-contract-a-585679/>
- Riva Saseveriono, E., Di Silvestre, M. L., Gallo, P., Zizzo, G., & Ippolito, M. (Juni 2017). *The Blockchain in Microgrids for Transacting Energy and Attributing Losses*. (IEEE Xplore Digital Library, Hrsg.) Abgerufen am 08. April 2018 von ieeexplore.ieee.org: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8276862/>
- Roß, A. (2012). Smart Grids - Welche Intelligenz braucht das Netz der Zukunft? In H.-G. Servatius, U. Schneidewind, & D. Rohlfing, *Smart Energy - Wandel zu einem nachhaltigen Energiesystem* (S. 287-303). Heidelberg: Springer.
- Rundel, P., Meyer, B., Meiller, M., Meyer, I., Daschner, R., Jakuttis, M., . . . Hornung, A. (September 2013). *Speicher für die Energiewende*. (Fraunhofer - UMSICHT, Herausgeber) Abgerufen am 11. Mai 2018 von energie.fraunhofer.de: https://energie.fraunhofer.de/de/bildmaterial/news-pdf/130909_fraunhofer-umsicht-speicher-fuer-die-energiewende
- Sanchez, D. C. (19. Dezember 2017). *Private and Verifiable Smart Contracts on Blockchain*. Abgerufen am 09. Mai 2018 von eprint.iacr.org: <https://eprint.iacr.org/2017/878.pdf>
- Schiller. (21. Februar 2018). *Merkle Tree – Eine Basis der Blockchain*. Abgerufen am 08. April 2018 von blockchainwelt.de: <https://blockchainwelt.de/merkle-tree-basis-von-blockchain-und-hash-trees/>
- Schütte, J., Fridgen, G., Prinz, W., Rose, T., Urbach, N., Hoeren, T., . . . Nouak, A. (November 2017). *Blockchain und Smart Contracts*. (Fraunhofer-Gesellschaft, Hrsg.) Abgerufen am 25. April 2018 von sit.fraunhofer.de: https://www.sit.fraunhofer.de/fileadmin/dokumente/studien_und_technical_reports/Fraunhofer-Positionspapier_Blockchain-und-Smart-Contracts.pdf?_=1516641660

- StMWi. (2016). *Daten und Fakten - Wasserkraft*. (Bayerisches Staatsministerium, Hrsg.) Abgerufen am 10. April 2018 von energieatlas.bayern.de:
https://www.energieatlas.bayern.de/thema_wasser/daten.html
- Tesla. (24. November 2017). *Australien: Tesla hat das größte Batteriespeicher-Projekt der Welt erfolgreich installiert*. (T. Inc., Herausgeber) Abgerufen am 11. Mai 2018 von <http://teslamag.de>: <http://teslamag.de/news/australien-tesla-batteriespeicher-projekt-welt-17038>
- Umwelt Bundesamt. (22. Februar 2018). *Europäische Energie- und Klimaziele*. Abgerufen am 16. April 2018 von umweltbundesamt.de:
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/europaeische-energie-klimaziele>
- von Perfall, A., & Utescher, T. (Februar 2018). *Blockchain Radar - Energie & Mobilität*. (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft, Hrsg.) Abgerufen am 28. März 2018 von bdew.de: https://www.bdew.de/media/documents/20171023_PwC_BDEW_Blockchain-Radar_DE.pdf
- Wang, J., Wang, Q., Zhou, N., & Chi, Y. (08. Oktober 2017). *A Novel Electricity Transaction Mode of Microgrids Based on Blockchain and Continuous Double Auction*. (Energies, Hrsg.) Abgerufen am 09. April 2018 von [mdpi.com](http://www.mdpi.com): <http://www.mdpi.com/1996-1073/10/12/1971/htm>
- WSW. (08. März 2018). *WSW Tal.Markt - Weltweit erster Blockchain Handelsplatz für Ökostrom*. (Wuppertaler Stadtwerke, Hrsg.) Abgerufen am 29. März 2018 von youtube.de:
<https://www.youtube.com/watch?v=gPVi-ycuFlg>
- WSW-Tal.Markt. (24. Mai 2018). *Homepage - Für Verbraucher - Für Produzenten*. Abgerufen am 31. Mai 2018 von wsw-talmarkt.de: <https://wsw-talmarkt.de/#/home>